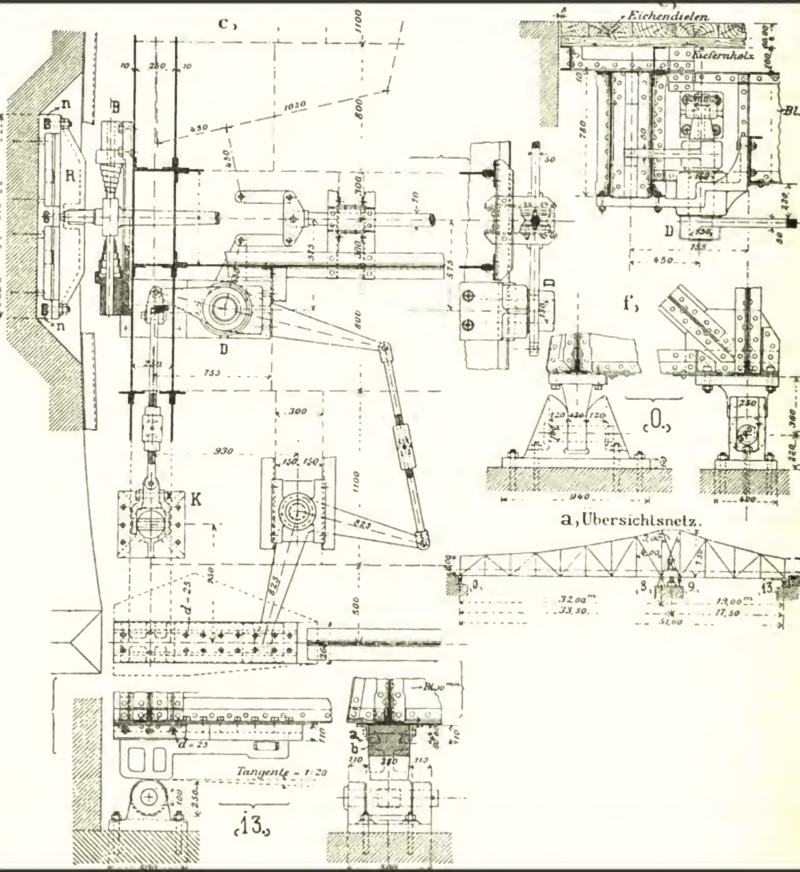


Bewegliche Brücken

Wilhelm Dietz

187

Bewegliche Brücken.

Von

Wilhelm Dietz,

Professor an der Technischen Hochschule in München.

Mit 106 Textfiguren.

Leipzig.

Verlag von Wilhelm Engelmann.

1897.

Vorwort.

Das vorliegende Heft der Fortschritte der Ingenieurwissenschaften behandelt die beweglichen Brücken insoweit, als Brücken dieser Gattung im Verlaufe der letztverflossenen 9 bis 10 Jahre ausgeführt oder zur Ausführung in Vorschlag gebracht worden sind; es hat daher sowohl als Fortsetzung und Ergänzung der 3. Abteilung des II. Bandes des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften zu dienen, als auch, und zwar vorwiegend, dem praktisch thätigen Ingenieur über die während obengenannter Zeitspanne erfolgte Entwickelung dieses Zweiges der Brückenbaukunst Nachrichten zu geben.

Die ungemeine Ausdehnung des zu bewältigenden Stoffes, dessen Durcharbeitung erheblichen Zeit- und Müheaufwand erforderte, liefs es sehr wünschenswert erscheinen, die beweglichen Brücken, in verschiedene Gruppen geteilt, in mehreren Heften eingehender zu besprechen; davon mufste jedoch, sollte deren Erscheinen nicht ungebührliche Verzögerung erleiden, Abstand genommen und infolge dessen die Besprechung und Schilderung der einzelnen Bauwerke, mit Rücksicht auf den verfügbaren Raum, innerhalb der knappesten Grenzen gehalten werden. Eine weitere Schwierigkeit hatten die Herausgeber bei der bildlichen Wiedergabe der darzustellenden, oft ziemlich verwickelten Einzelheiten der mannigfaltigen Bauwerke zu überwinden. Die Entscheidung darüber, ob und inwieweit dies, trotz der hierauf verwendeten Zeit und Mühe, gelungen ist, möge dem nachsichtigen Urteil des Lesers anheimgestellt bleiben.

Zum Schlusse darf vielleicht auf den Anhang aufmerksam gemacht werden, in dem gezeigt wird, wie die Francke'sche Darstellung der Gleichung der elastischen Linie, welche der Autor aufgestellt und zur Lösung ziemlich schwieriger Aufgaben aus dem Gebiete der Theorie des eisernen Lang- und Querschwellen-Oberbaues, der Theorie des steifen Seilträgers und auch zur Bestimmung der Nebenspannungen in Fachwerksträgern benutzt hat, ganz besonders geeignet erscheint, wenn es sich um Aufgaben mannigfaltigster Art, den über mehr als 2 Stützen durchlaufenden Träger betreffend, handelt. In letzterem Falle lassen sich nach dieser Methode in einfachster, stets übersichtlicher Weise für den praktischen Gebrauch zweckentsprechende Formeln ableiten.

München und Darmstadt, im April 1897.

W. Dietz, Th. Landsberg.

Inhalt.

I. Drehbrücken.

IX. Anhang.

Kurze Entwickelung einiger einfacher Formeln für den durchlaufenden Träger.

A. Unveränderliches Trägheitsmoment.

B. Veränderliches Trägheitsmoment.

C. Der durchlaufende Träger mit unveränderlichem Trägheitsmoment auf elastischen Stützpunkten.

I. Drehbrücken.

1. In Deutschland.

a. Die Drehbrücken über und am Nord-Ostsee-Kanal (Kaiser Wilhelm-Kanal) (Fig. 1 bis 13), [Litt. 74].

Bei Erbauung dieser Wasserstraſse muſsten zur Überführung der durch den Kanal durchschnittenen Straſsen, Wege und Eisenbahnen 2 Straſsenbrücken, 5 Eisenbahnbrücken und 16 Fähren hergestellt werden; von den Brücken wurden mit Rücksicht auf die bestehenden Lage- und Höhen-Verhältnisse vier als bewegliche (Dreh-)Brücken mit je 50 m nutzbarer Lichtweite ausgeführt und soll auf dieselben hier näher eingegangen werden.

Nur eine dieser vier Brücken ist eine Straſsenbrücke und zwar die südlich von Rendsburg gelegene; wenige 100 m östlich hiervon führen zwei weitere Drehbrücken (je ein Geleis der Eisenbahn Neumünster-Rendsburg) bei Osterrönfeld über den Kanal, während die dritte Eisenbahndrehbrücke (für die eingeleisige Marschbahn) bei Taterpfahl den Kanal kreuzt. Diese sämtlichen Drehbrücken sind ungleicharmig, werden mittels Wasserdruckbetriebes bewegt und ist deren allgemeine Anordnung eine ähnliche bis auf später zu besprechende Einzelheiten.

Die Straſsendrehbrücke soll regelmäſsig geschlossen bleiben und nur für die Durchfahrt von Schiffen geöffnet, die Eisenbahnbrücken dagegen sollen regelmäſsig geöffnet sein und nur kurz vor der Überfahrt eines Zuges geschlossen werden. Zur Sicherung des Bahnverkehres sind Signalvorrichtungen angeordnet, deren Stellung von der Brückenstellung abhängt. Die Straſsendrehbrücke und die Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl sind rechtwinkelig, die beiden Eisenbahndrehbrücken bei Osterrönfeld unter einem Winkel von 70° über den Kanal geführt.

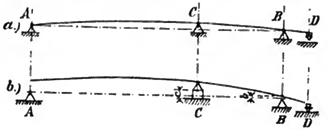
Folgende Anordnungen sind für alle 4 Brücken gleich oder sehr ähnlich und können daher gemeinsam besprochen werden.

Die Hauptträger sind ungleicharmige Fachwerke mit einfachen, fallenden und steigenden Schrägstäben (siehe auch Fig. 10, S. 9); der lange Arm *A C* überdeckt die Schiffahrtsöffnung, der kurze Arm *C B*, an welchen ein frei ragendes Feld *B D* schlieſst, dient als Gegengewicht beim Aufdrehen und trägt zu diesem Behufe die Ballastkästen *G* (Fig. 10); er ist verhältnismäſsig lang mit Rücksicht auf den Winddruck, um die Brücke leicht gegen letzteren drehen zu können. Zu diesem Zwecke ist auch noch eine Windschürze *W* (Fig. 10) aus Wellblech angebracht, welche bezweckt, das Winddrehmoment für beide Arme auszugleichen. Im geschlossenen Zustand (Fig. 1 *a*) ruht der Träger auf den beiden Endlagern *A* und *B* und einem festen Auflager am Mittelpfeiler *C*. Der

Kolben der Hebepresse C ist hierbei nicht belastet und die Laufräder D schweben noch frei. Während des Aufdrehens (Fig. 1 b) ruht die Brücke nur mehr auf dem Drehzapfen (Kolben der Hebepresse) und dem am Ende des kurzen Armes befindlichen Laufrad D, das indessen nur so stark belastet wird, dafs ein Kippen durch Schnee und Wind nicht eintreten kann.

Fig. 1.

Drehbrücken vom Nord-Ostsee-Kanal.

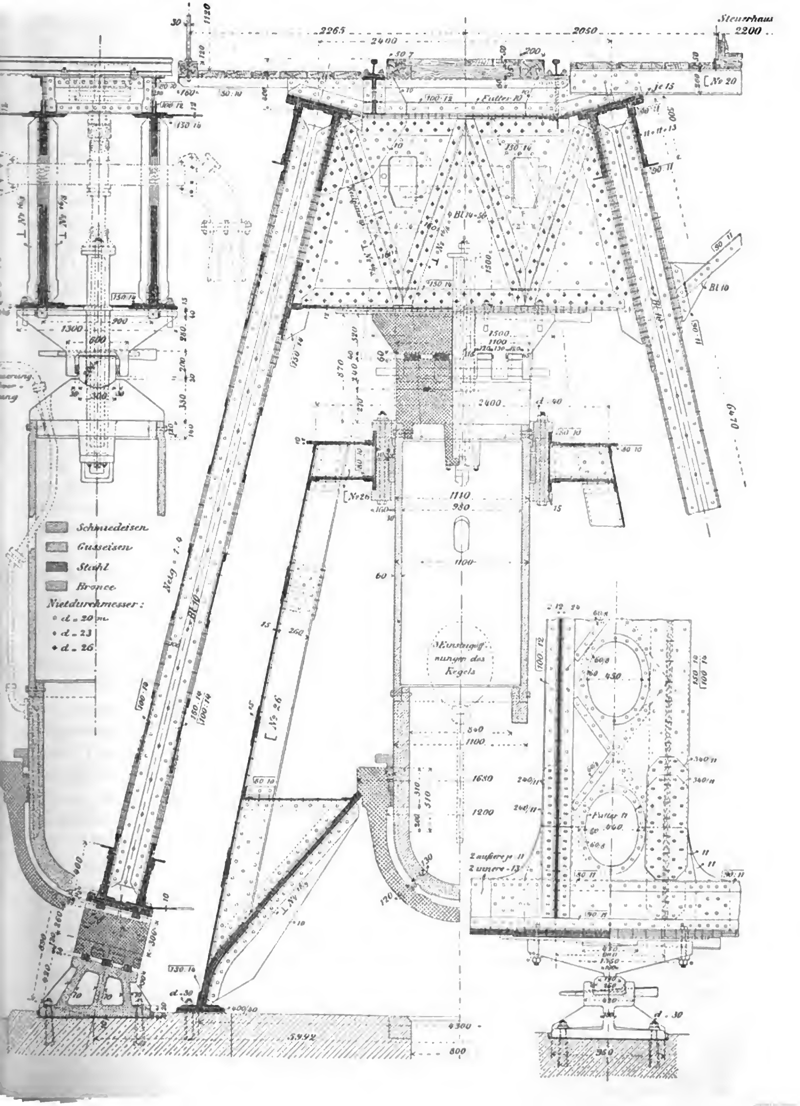


Um das Öffnen und Schliefsen der Brücke in kürzester Zeit, auch bei Sturm zu ermöglichen, ist Wasserdruckbetrieb bei verhältnismäfsig schwachen Maschinen unter Zuhilfenahme von Kraftsammlern, die für kurze Zeit eine sehr bedeutende Arbeitsleistung bethätigen können, eingerichtet. — Das Druckwasser wird für jede Brücke in einer eigenen Pumpenanlage erzeugt und sind überdies die Stationen für die Strafsenbrücke und für die beiden Osterrönfelder Bahnbrücken miteinander verbunden, sodafs jede dieser Stationen im Bedarfsfalle beide Brücken bedienen kann. Jede Pumpstation besitzt 2 Cornwallkessel mit je 60 qm Heizfläche und 6 Atm. Überdruck, von welchen einer ständig in Betrieb ist; eine Zwillinghochdruckmaschine mit Rider-Expansionssteuerung mit zwei Cylindern von 325 mm Durchmesser und 400 mm Hub, die 2 mit Differential-Taucherkolben ausgestattete Hochdruckpumpen für 50 bis 60 Atm. Betriebsdruck treibt, und einen Wasser-Kraftsammler von 600 mm Kolbendurchmesser und 6 m Hub. — Die Gewichtsbelastung besteht aus Sand und Kies in einem schmiedeeisernen Behälter. Ein Sicherheitsventil verhindert zu hohes Steigen der Last, ein selbstthätiges Bremsventil sichert gegen die Folgen von Rohrbrüchen, und eine mit dem Expansionsschieber der Dampfmaschine verbundene Druckwasser-Umsteuerung bewirkt selbstthätig das Anlaufen der Maschine, sobald die Last 1,3 m tief abgesunken ist, sowie das Abstellen bei voller Höhe.

Mittels dieser in den 3 Stationen genau gleichen Anlagen kann das Öffnen und Schliefsen, sowie das Heben und Senken der Osterrönfelder Brücken in je 120, der Strafsendrehbrücke und der Taterpfahler Bahnbrücke in je 130 Sekunden bewirkt werden. Die Kraft ist ausreichend um beide Osterrönfelder 4 mal und die Strafsendrehbrücke 6 mal in einer Stunde aus- und einzudrehen. Sollte im äufsersten Fall der Wasserdruckbetrieb vollständig versagen, so ist noch eine Hilfspumpe mit Petroleummotor und Handbetrieb vorgesehen.

Soll die Brücke gedreht werden, so wird Druckwasser in die Hebepresse eingelassen und die Brücke angehoben, wobei sie infolge des Übergewichtes des kurzen Armes um einen auf dem Kopfe des Kolbens angebrachten Stahlzapfen von 1100 mm Breite und 300 mm Länge (Fig. 2) umkippt; die Breite wurde so grofs gewählt um die Standsicherheit gegen seitliche Kräfte möglichst grofs zu erhalten. — Wird der Kolben der Hebepresse um beiläufig (bei den verschiedenen Brücken ändern sich diese Zahlen etwas) 98 mm gehoben, so werden die Endauflager am langen Brückenarmende von den Auflagern abgehoben; ein weiteres Anheben bis zu 160 mm genügt, um auch daselbst die keilförmig gestalteten Einklinkvorrichtungen zu lösen, wobei sich auch die Endauflager B des kurzen Armes um ungefähr 6 mm von den Lagerkörpern abheben und die Laufrollen D zur Wirksamkeit gelangen; letztere laufen auf einer kreisförmig gebogenen, auf einem Mäuerchen F (Fig. 3) gelagerten Laufschiene und es kann die Brücke nun mit geringer Kraft gedreht werden. Die Drehung erfolgt durch 2 auf der Brücke gelagerte Druckwasserflaschenzüge (k in Fig. 3 u. Fig. 5), von denen der eine das Aus-, der andere

Fig. 2. *Drehzapfen der Eisenbahn-Drehbrücken bei Osterrönfeld (Nord-Ostsee-Kanal).*



das Eindrehen bewirkt. Die Kraft wird durch 2 übereinander liegende Stahldrahtseile *d* von 80 mm Durchmesser, die sich um den Rand des Pfeilers über gufseiserne, verankerte Seilkranzabschnitte (Fig. 4) legen und deren Enden an tief in die Pfeiler greifende Anker befestigt sind, übertragen. Die Seile sind verzinkt und bestehen aus je 798 Drähten von je 1,61 mm Durchmesser, nach der Verzinkung. Der Führungskranz-Durchmesser = 8,72 m ist möglichst grofs gewählt, sodafs für gewöhnlich 30 t, bei Sturm 60 t und bei dem gröfsten Winddrucke: 250 kg auf den qm, erst 90 t Zug in einem solchen Seil hervorgerufen werden.

Fig. 3.

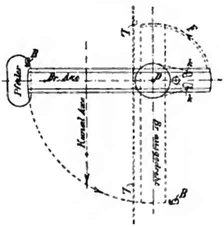


Fig. 4.

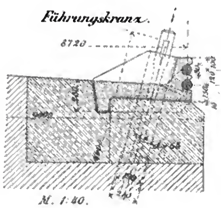
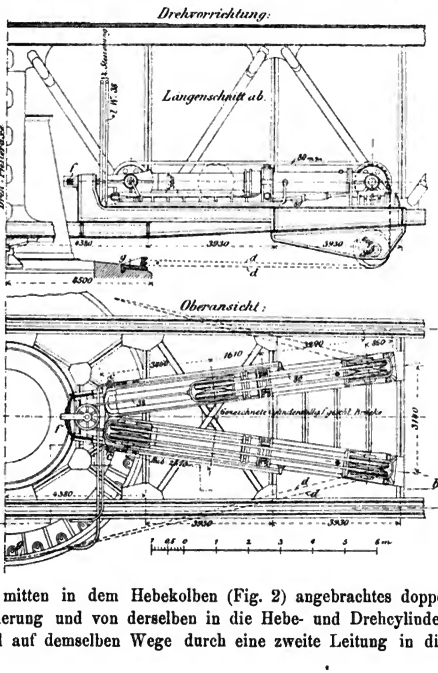


Fig. 5.

Vorrichtung zum Drehen der Osterrönfelder Drehbrücken.



Bei 55 Atm. Druck kann die Brücke noch langsam gegen einen Wind von 100 kg auf den qm gedreht werden; es sind jedoch alle Teile für einen während der Drehung auftretenden Druck von 250 kg auf den qm berechnet.

Die Steuerung für Heben und Drehen erfolgt von einem heizbaren Steuerhäuschen aus, das auf der Brücke über dem Drehpfeiler angebracht ist, da von hier aus am besten der Kanal, die Bahn und die Brücke selbst überblickt werden kann. — Das Druckwasser fliefst vom Kraftsammler durch ein mitten in dem Hebekolben (Fig. 2) angebrachtes doppeltes Stopfbüchsrohr zu der Steuerung und von derselben in die Hebe- und Drehcylinder; das verbrauchte Wasser wird auf demselben Wege durch eine zweite Leitung in die Speisebehälter der Pump-

station zurückgedrückt; im Winter besteht die Druckflüssigkeit zur Sicherung gegen Einfrieren aus 100 Teilen Glycerin und 80 Teilen Wasser. Die Brücke dreht mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 2 m in 1 Sekunde; gegen das Ende der Bewegung wird der Zuflufs der Druckflüssigkeit selbstthätig abgesperrt und die lebendige Kraft durch aufgestellte Wasserpuffer *B* (Fig. 3, 6 u. 7) von 20 t Widerstand und 1 m Weg aufgezehrt; die Puffer sind ähnlich wie die hydraulischen Eisenbahnpuffer ausgebildet. Die genaue richtige Endstellung der Brücke wird dem Maschinisten mittels Stromschlusses einer elektrischen Klingel angezeigt. Die Brücke kann nun gesenkt werden, und es verriegelt sich bei den Eisenbahnbrücken das Ende des langen Armes durch eine Einklinkvorrichtung selbstthätig dergestalt, dafs Schienenkopf genau an Schienenkopf zu stehen kommt. Am Ende des kurzen Armes ist eine besondere Einrichtung getroffen, mittels des noch später zu besprechenden Pendelschlittens, um die durch ungleiche Erwärmung der Hauptträgergurtungen hervorgerufene Verkrümmung der Fahrbahn unschädlich zu machen. Nach Absenkung der Brücke wird auch dieser letztere vom Steuerhäuschen aus durch einen Hebel verriegelt und gleichzeitig durch Umlegen des Hebels die Steuerung festgestellt, sodafs die Brücke nicht mehr bewegt werden kann.

Sämtliche Auflager wurden als mehrteilige, mittels Keilen stellbare Kipplager (Fig. 2) ausgebildet. Die Unterteile derselben sind, da sie zeitweilig ohne Belastung, durch Steinschrauben mit dem Mauerwerk fest verbunden. Von den Unterteilen der Mittelauflager (über Drehpfeiler) sind für jede Brücke 4 Stück, 2 für die geschlossene und 2 für die geöffnete Brücke, angebracht; bei den Osterrönfelder Eisenbahnbrücken sind sie überdies, um den Seitenschub der geneigten Tragwände wirksamer aufnehmen zu können, wechselseitig verankert.

Die Hauptträger der eisernen Überbauten sind nach einheitlichen Grundsätzen durchgebildet. Der Gurtungsquerschnitt ist trogförmig (Fig. 2); sämtliche Schrägstäbe und lotrechte Stäbe sind steif ausgebildet, überhaupt schlaffe Glieder in dem ganzen Unterbau nicht verwendet worden. Bei der Anordnung der Gurtungsquerschnitte sollte der Spannungszuwachs, gegen den Drehpfeiler hin, möglichst von dem Querschnittszuwachs aufgenommen werden, weshalb die Stehbleche entsprechend doppelt und dreifach aufeinandergelegt und dadurch eine allzu grofse Anzahl von Deckplatten vermieden wurde.

Zum Schutze gegen einfahrende Schiffe sind die Brücken mit hölzernen Leitwerken *L* versehen (Fig. 3), sowie die Drehpfeiler sehr mächtig gehalten; Durchmesser = 9 m.

Das Material für sämtliche Überbauten ist durchaus Schweifseisen.

Die Entwürfe zu den Brückenbauten und zur allgemeinen Anordnung der Bewegungsvorrichtung wurden im Bureau der Kaiserlichen Kanal-Kommission, zur Tragkonstruktion vom jetzigen Regierungs- und Baurat Greve in Stettin, die zu den Einzelheiten der Maschinerie und Bewegungsvorrichtungen von der Firma Haniel & Lueg in Düsseldorf bearbeitet, und letzterer auch die Ausführung übertragen. Die Ausführung der eisernen Überbauten erfolgte durch die Brückenbauanstalt Harkort in Duisburg, die der Pfeilerbauten durch die Firma Ph. Holzmann in Frankfurt a. M. mit Ausnahme der Taterpfahler, welche der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg übertragen war.

Besondere Eigentümlichkeiten und Hauptabmessungen der einzelnen Brücken:

α) Eisenbahndrehbrücken bei Osterrönfeld (Fig. 2 bis 9). Bahn- und Kanalaxe kreuzen sich unter einem Winkel von 70°; Öffnen und Schliefsen erfolgt stets nach diesem spitzen Winkel.

Die beiden Hauptträger, in der äufseren Erscheinung ähnlich den in Fig. 10, S. 9 dargestellten, sind, ganz abweichend von allen bestehenden Drehbrücken, in die

Neigung = 1 : 4 (Fig. 2) gestellt, um durch diese Schrägstellung folgende Vorteile zu erreichen: Die geringe Entfernung der beiden Obergurtungen (2,4 m) hat, da die Fahrbahn oben liegt, ein geringes Gewicht der Fahrbahntafel zur Folge, während die wesentlich gröfsere Entfernung der Untergurtungen die Anordnung einer genügend widerstandsfähigen, wagrechten Verspannung gegen seitliche Kräfte durch Winddruck beim Drehen zuläfst, und hauptsächlich durch diese Anordnung zwischen den beiden Hauptträgern für eine standsichere Unterstützung des Drehzapfens genügend Raum geschaffen wird. Die Trägerlänge eines Öffnungsfeldes beträgt 99,15 m = ($AC + CB + BD$ = 59,40 + 35,82 + 3,93 m), Fig. 1; die Trägerhöhe über Pfeiler, in Tragwandebene gemessen, 6,25 m; mithin findet statt: $\frac{6,25}{99,15} = \frac{1}{15,9}$.

Der halbkugelförmig gestaltete Hebecylinder aus Stahlgufs (Fig. 2) hängt in einem kegelförmigen Unterbau und der gufseiserne Kolben trägt eine Säule mit dem bereits erwähnten, stellbaren Stahlgufs-Kipplager, auf dem die Brücke beim Heben und während des Drehens ruht. Anzuheben ist ein Gewicht von 510 t, das im Cylinder einen Druck von 46 Atm. während des Anhebens und von 42 Atm. in der Ruhestellung (gehoben) erzeugt. Zur Aufnahme des Winddruckes wird die Hebesäule in einem Halslager geführt, das in einem schmiedeeisernen Ring von kastenförmigem Querschnitt liegt, der sich auf einen Kegelmantel aus abgesteiftem Eisenblech stützt. Dieser Kegel ist mit dem den Hebecylinder tragenden Kegel auf einer gemeinsamen Grundplatte gelagert, damit das in ersterem auftretende Kippmoment durch den letzteren aufgehoben wird. Die angehobene Brücke ist durch die Laufrolle (Fig. 8 *b*, *c*) am Ende des kurzen Armes nur in einem Punkte gestützt und es mufs das seitliche Kanten der Brücke durch die bereits erwähnte grofse Breite des Kippzapfens hintangehalten werden. Die Verbindung der auf dem Pfeiler fest gelagerten und am Drehzapfen (Königsstuhl) hochgeführten Druck- und Rückflufs-Rohrleitung mit den auf der Brücke gelagerten und mit dieser drehenden Rohrleitung geschieht durch eine doppelte Stopfbüchse, von der ein Teil fest mit dem Königsstuhl, der andere fest mit der Brücke verbunden ist. Beide Teile lassen sich teleskopartig ineinander verschieben und drehen. Aus der festen Leitung tritt das Wasser zunächst in einen gufseisernen Ring und erst durch diese in die Stopfbüchse; der Ring geht durch Ausschnitte in den Hauptquerträger der Brücke (Fig. 2) und ermöglicht dadurch das ungehinderte Heben und Drehen derselben.

Das Druckwasser fliefst aus dem Kraftsammler durch die feste Rohrleitung und die eine Hälfte des Ringrohres in das innere Rohr der Stopfbüchse und von dieser aus durch ein Gelenkrohr (wegen der Kippbewegung beim Anheben der Brücke) zu der Steuerung, von wo es mittels 3 nebeneinander liegender, durch Handräder bewegter Schieber entweder dem Hub- oder einem Drehcylinder zugeführt werden kann. Die Rückleitung von diesem Cylinder führt wieder durch die Steuerung, dann in das äufsere Rohr der Stopfbüchse und durch die andere Hälfte des Ringes weiter zur Pumpstation.

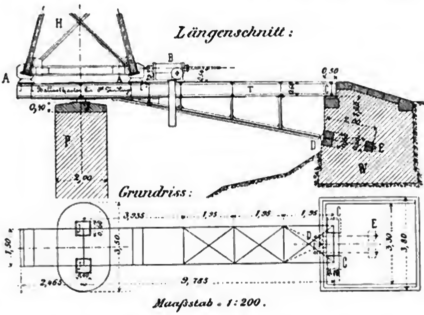
Bei abgesenkter Brücke steht auf dem Kolben des Hebecylinders blofs der Druck aus dem höher liegenden Abwasserbehälter, der genügt das Gewicht des Kolbens und der Hebesäule zu tragen. Im übrigen ruht das volle Gewicht auf den festen Auflagern *A*, *B* und *C*, deren Höhenlage für die eingedrehte Brücke dem unbelasteten Zustand der Brücke entspricht, für die ausgedrehte Brücke aber so bemessen ist, dafs die Brücke nur wenige Centimeter gesenkt zu werden braucht, um am Ende des langen Armes fest aufzuliegen.

Da die Seile *d* (Fig. 5) besonders im Anfang des Betriebes stark längen, so sind sie mittels einer Birne an lange Spannschrauben angeschlossen, die durch die Lager-

stühle der Cylinder gehen und ein Nachziehen der schlaff gewordenen Seile gestatten. Zur Erhaltung der Spannung während des Drehens sind die Enden der Kolben durch ein leichtes Spannseil verbunden, das über eine auf einer starken Feder *f* befestigte Rolle läuft.

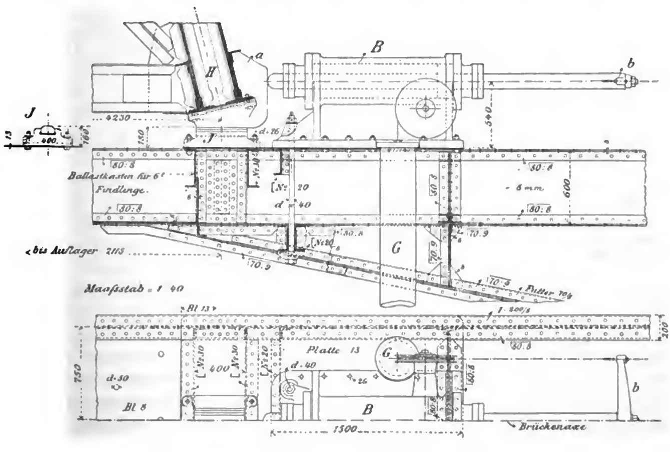
Grundlagen der statischen Berechnung. Als veränderliche Belastung wurden der Rechnung ein Winddruck von 150 **kg/qm** für die eingeschwenkte fest gelagerte, und von 250 **kg/qm** für die frei schwebende Brücke; Eisenbahnzüge mit 2 schwersten Schnellzuglokomotiven; um 30° C. ungleiche Erwärmung der Gurtungen und ungenaue Höhenlage bis zu 1 cm zu Grunde gelegt. Hierbei darf die specifische Spannung aus dem Eigengewicht allein 700 **kg** f. d. **qcm**, aus dem Eigengewicht und dem Winddruck (150): 800 **kg/qcm**, aus dem Eigengewicht und dem Winddruck (250): 1000 **kg/qcm** für die frei schwebende Brücke nicht überschreiten; bei eingeschwenkter Brücke sind die entsprechenden Grenzwerte für Eigengewicht und Eisenbahnzug: 700 **kg/qcm**, für Eigengewicht Zug und Wind (150): 800 **kg** f. d. **qcm** und für Eigengewicht, Zug und ungleiche Erwärmung der Gurtungen: 850 **kg/qcm**. Die Biegungsspannungen in den oberen Gurtungen durch die unmittelbare Auflagerung der Querträger sind bei der Querschnittsabmessung entsprechend berücksichtigt worden.

Fig. 6. *Auflagerung des langen Brückenarmes der Drehbrücken bei Osterrönfeld bei ausgeschwenkter Brücke.*



Die größten Spannungswerte treten für die frei schwebende Brücke auf.

Fig. 7. *Puffer-Vorrichtung bei den Drehbrücken in Osterrönfeld.*



Wasserverbrauch. Für das zu hebende Gewicht von 425 t (400 t Eisenkonstruktion und 25 t Gewicht für den Drehcylinder) ergiebt sich das erforderliche Wasservolumen zu 1210 l für das vollständige Öffnen und Schliefsen einer Brücke und verteilt sich wie folgt: für das Anheben bei 150 mm Hub 140 l; für das Öffnen 520 l; für das Absetzen auf die Mittelstützen und Wiederanheben um 30 mm 30 l; für das Schliefsen 520 l.

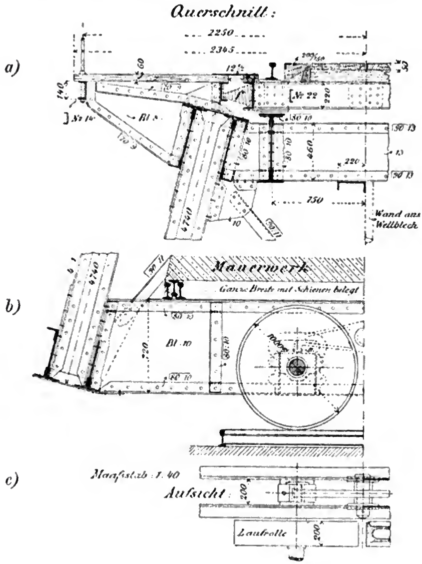
Da beide Eisenbahnbrücken in 5 Minuten geöffnet und geschlossen und nach 10 Minuten dieser Vorgang wiederholt werden soll, hat sich der Plungerdurchmesser des Kraftsammlers zu 600 mm bei 6 m Hubhöhe ergeben.

Puffer- und Hemmvorrichtung. Die Anordnung der bereits erwähnten Puffer ist aus den Figuren 6 und 7 ersichtlich; erstere zeigt das Ende des langen Brückenarmes im ausgeschwenkten, bereits abgesenkten Zustande. Da der Puffer mit der Rückleitung verbunden, so genügt der in derselben befindliche Druck von 1 Atm., um die leer gehenden Plunger bis zur Anfangslage aus dem Cylinder zu schieben.

Auflagerung der ausgeschwenkten Brücke. Um bei stürmischem Wetter die frei schwebende Brücke zu sichern wird die ausgeschwenkte Brücke in der Mitte (über Drehpfeiler) und am Ende des langen Armes aufgelagert, dabei jedoch, um Zeit und Druckwasser zu sparen, der Mittelzapfen nur um 3 cm gesenkt, während die geschlossene Brücke 16 cm erfordert. Bei einem Reibungsbeiwert $f = 0{,}33$ wird das Ende des langen Armes mit 3 t gegen seitliche Bewegung durch Wind festgehalten.

Für den kurzen Arm ist für die ausgedrehte Brücke kein Auflager vorgesehen; er ruht nur auf den Laufrädern (Fig. 8 *b*), von welchen jedes bei dem denkbar ungünstigsten Belastungsfall höchstens 16,7 t Druck erhalten kann.

Fig. 8. *Ende des kurzen Armes bei Osterrönfeld.*

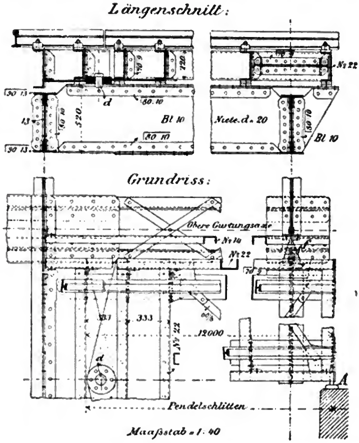


Pendelschlitten. Die ausgeschwenkte Brücke liegt von Ost nach West, es wird daher, da nur ein Untergurt voll beschienen ist und die 3 übrigen im Schatten liegen, wenn am Ende des langen, verriegelten Armes Schienenkopf auf Schienenkopf passen, das gleiche nicht am Ende des kurzen Armes stattfinden; um nun die Schienenköpfe auch in diesem Falle genau einander gegenüber zu bringen, ist ein bewegliches Geleisstück auf einem besonders vorgesehenen Rahmen, dem bereits früher erwähnten Pendelschlitten (Fig. 8*a* u. 9), befestigt, an dessen der Brückenmitte zu gelegenem Ende sich der Drehbolzen *d* befindet. Am anderen freien Ende schliefst der Pendelschlitten an den Anschlag *A* der Art, dafs sich

genau Schienenkopf gegen Schienenkopf stellt. Gegen diesen Anschlag wird der Pendelschlitten durch die Spiralfeder *f* gedrückt und überdies durch eine seitliche Verriegelung gegen wagrechte Verschiebungen gesichert. Durch diese Anordnung ist erzielt, dafs der im Grundrifs des Geleises sich ergebende Knick das bei der preufsischen Normalweiche übliche Mafs von 33 Minuten nicht überschreitet, wobei noch zu beachten, dafs ohnehin mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit die Brücke nur langsam befahren werden darf.

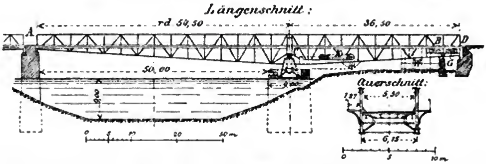
Der Zeitaufwand zum einmaligen Öffnen beträgt bei gewöhnlichem Wetter $1^3/_4$ Minuten, wovon $^1/_2$ Minute zum Anheben, $1^1/_4$ Minuten zum Drehen erforderlich; die Bedienung jeder Brücke erfolgt durch einen Mann.

Fig. 9.
Pendelschlitten bei den Drehbrücken in Osterrönfeld.



β) Die Strafsendrehbrücke bei Rendsburg (Fig. 10) übersetzt den Kanal rechtwinkelig. Die Gesamtträgerlänge beträgt 91,90 m = (55,05 + 33,21 + 3,64 m); die Entfernung der beiden lotrecht stehenden Hauptträger 6,15 m von Tragwand-Mitte zu Mitte; Trägerhöhe über Pfeiler = 7 m; aufserhalb der Tragwände befinden sich auf Kragarmen 2 Fufswege von je 1,25 m nutzbarer Breite. Die Unterkante der Obergurtung liegt 2 m über Fahrbahn, sodafs der Querverkehr ungestört stattfinden kann. Es liegt eine Windverspannung nur in der unteren Gurtungsebene.

Fig. 10.
Strafsendrehbrücke bei Rendsburg (Nord-Ostsee-Kanal).



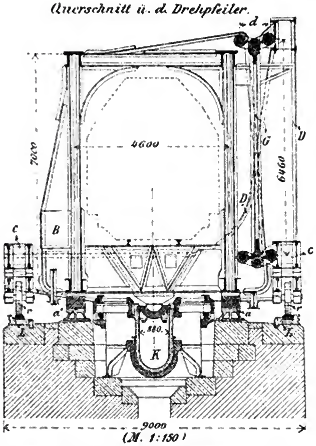
Da die Querverbindung keine ausreichende Aussteifung für die frei schwebende Brücke bietet, sind am Ende des kurzen Armes Laufrollen nächst jedem Hauptträger angeordnet. Der Königsstuhl ist 1,70 m tief in den Pfeiler eingebaut, siehe Fig. 10. Die Einzelheiten der Bewegungsvorrichtung stimmen im wesentlichen mit jenen der Osterrönfelder Brücken überein.

γ) Die Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl (Fig. 11) übersetzt ebenfalls rechtwinkelig den Kanal. Da die Fahrbahn nach unten gelegt werden mufste, wurden die Hauptträger als Parallelfachwerkträger ausgeführt. Trägerlänge 95,94 m = (56,62 + 35,00 + 4,32 m) bei 6,80 m Höhe. Die tiefe Lage der Fahrbahn hatte besondere

Schwierigkeiten zur Folge: der Königsstuhl konnte nur geringe Höhe erhalten; die Drehcylinder mufsten aufserhalb der Hauptträger, parallel zur Brückenlängsaxe, gelagert werden und es war eine besondere Einrichtung, kurz Drehschemel genannt, erforderlich, um das seitliche Kippen der frei schwebenden Brücke zu verhindern und den Winddruck aufzunehmen.

Fig. 11. *Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl (Nord-Ostsee-Kanal).*

Querschnitt ü. d. Drehpfeiler.



Die Hauptträgerhöhe wurde so gewählt, dafs auch in der oberen Gurtungsebene eine Windverspannung angebracht werden konnte. Die Fahrbahn besteht aus hölzernen Querschwellen mit Streichbalken neben jeder Schiene zur Sicherung gegen Entgleisung. Die Stöfse der Längsträger sind frei schwebend und gestatten sowohl eine Drehung, als auch eine kleine Verschiebung. Zwischen den Obergurten der Längsträger liegt ein durchlaufender Horizontalverband, der in geeigneter Weise mit den Knotenpunkten der unteren Gurtung in Verbindung gebracht ist[1]), um auch die Bremskräfte der Brücke wirksam aufnehmen zu können.

Infolge des oben erwähnten Drehschemels ist die Brücke auf der Kolbensäule mit einem Kugellager gelagert und, wie bei der Strafsenbrücke, am Ende des kurzen Armes durch Laufrollen unter jedem Hauptträger unterstützt. Neben den Laufrollen sind (auch bei den anderen Brücken) Sicherheitsrollen angebracht.

Der bereits erwähnte Drehschemel (Fig. 11) besteht aus zwei rechtwinkelig nach aufwärts gebogenen Hauptträgern D; sie sind bei c durch kastenförmige Träger verbunden, welch letztere mittels einer drehbaren Achse auf einem an einem Räderpaar gestützten Balancier ruhen. Oben sind die beiden Hauptträger durch einen nach drei Seiten geschlossenen Kasten verbunden. Die Lage dieser beiden Hauptträger des Drehschemels zum eisernen Überbau ist durch 3 Mitnehmer so festgesetzt, dafs die mittlere Lotebene des ganzen Drehschemels mit der mittleren Querschnittsebene durch die Auflagerlotrechte des Brückenunterbaues zusammenfällt. Diese Mitnehmer gestatten eine Veränderung der Höhenlage der Brücke gegen den Drehschemel, sodafs sie einem Anheben der Brücke nicht hinderlich sind. Die zwischen den Hauptträgern der Drehschemel liegenden Brückenhauptträger gestatten nicht die Anordnung eines durchlaufenden Schrägenverbandes; es sind entsprechend abgesteifte Rahmen hierfür konstruiert, in deren wagrechtem Teil noch Eckverbindungen sind, die gleichzeitig dazu dienen, als Ballastkästen B (Fig. 11) zu wirken, da wegen der unsymmetrischen Form der Drehschemel eine Ausgleichung der leichteren Seite erforderlich ist. Der Drehschemel wirkt bis zu 78 kg/qm Winddruck blofs durch sein Gewicht; wird letzterer überschritten, so treten 2 Sicherheitshaken in Thätigkeit, die unter den vorstehenden Rand des Königsstuhles

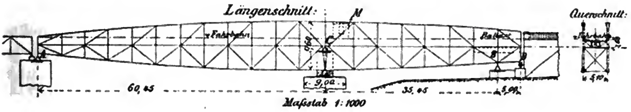
[1]) Zeitschr. f. Bauw. 1896, Taf. 16, 17, Fig. 14, 15.

greifen. Die Verbindung des Drehschemels mit der Brücke erfolgt durch ein System G von Stangen, die durch Gelenke miteinander verbunden sind. Macht man d (siehe Fig. 11, rechts oben) im Verhältnis zur lotrechten Bewegung nur genügend grofs, so ist die unvermeidliche wagrechte Bewegung auf das praktisch zulässige Kleinstmafs gebracht und kann von dem Untergurt aufgenommen werden.

Die übrigen Anordnungen, wie: Windschirm am kurzen Arm, Puffer, Pendelschlitten und Vorrichtungen zum Heben und Drehen gleichen den bei den Osterrönfelder Brücken getroffenen.

Fig. 12.

Entwurf der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg für die Osterrönfelder Brücken.

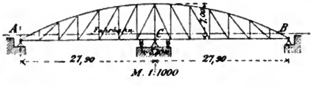


δ) Einem Entwurfe der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg für die Osterrönfelder Brücken (Fig. 12) liegt das Bestreben zu Grunde, die elastische Einbiegung, sowie die Verdrehungen durch Windwirkungen (Torsionsbeanspruchungen) thunlichst klein zu erhalten; deshalb wurde die grofse Höhe über Pfeiler = 9,6 m $\left(\frac{9,6}{100,6} = \frac{1}{9,54}\right)$ gewählt und die Hauptwindverspannung nahezu in die Schweraxe der Hauptträger gelegt, sodafs die Hauptwindverspannungsebene durch das Druckmittel der gesamten Windangriffsfläche geht. Gleichzeitig ergiebt sich für die gewählte Anordnung eine kleine Anzahl von Knotenpunkten, ohne dafs man dabei zu grofse Knicklängen für die gedrückten Glieder erhält.

ε) Aufser diesen 4 Kanalbrücken war eine zweigeleisige Eisenbahnbrücke über die Obereider bei Rendsburg (Fig. 13) erforderlich; diese gleicharmige, 55,80 m lange Brücke übersetzt die Obereider unter einem Winkel von 84°; trotz der schiefen Pfeilerstellung konnte der eiserne Überbau rechtwinkelig angeordnet werden. Der Drehpfeiler steht am Rand der Fahrrinne des neuen Durchstiches, für den sich eine nutzbare Lichtweite von 21,87 m ergiebt. Das Gewicht der ausgedrehten Brücke, 246 t, ruht nur auf dem Königsstuhl C; 4 Laufrollen, in je 2,90 m Entfernung von letzterem angebracht, sichern die Brücke gegen Kippen durch seitliche Kräfte. In eingedrehter Stellung ist die Brücke an den Enden A und B aufgelagert und verriegelt, ähnlich wie die Ludwigshafener Brücke (Fig. 22); ferner kommen in Brückenmitte aufser dem Königsstuhl 2 feste Lager mit flachcylindrischer Oberfläche, je eines unter einem Hauptträger gelagert, zur Wirksamkeit.

Fig. 13.

Eisenbahndrehbrücke über die Obereider bei Rendsburg (Nord-Ostsee-Kanal).



Auch bei dem eisernen Überbau dieser Brücke wurde die Verwendung schlaffer Glieder grundsätzlich vermieden; entworfen und ausgeführt wurde sie von der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg.

b. Die Baakenbrücke über den Magdeburger Hafen in Hamburg (Fig. 14 bis 17), [Litt. 25]

besteht aus 2 festen und einer gleicharmigen Drehöffnung von 53,5 m und führt ein Bahngeleise, eine 6 m breite Fahrbahn und einen 2,5 m breiten Fufsweg unter einem Winkel von 59° 8′ über den Hafen; die nutzbare Lichtweite jeder Öffnung der Drehbrücke beträgt 21,3 m. Der dritte, mittlere Träger wurde eingeschaltet, um bei der grofsen Gesamtbreite von 13,5 m an Querträgergewicht zu sparen. Da die Brücke in ausgedrehter Stellung allein auf dem Kolben des als Wasserdruckpresse ausgebildeten Königsstuhles lagert, konnte von der meist üblichen kreisrunden Form des Pfeilers abgesehen und derselbe länglich, wie ein gewöhnlicher Strompfeiler (Fig. 16) ausgebildet werden, wodurch eine zweckentsprechende Durchleitung der Strömung erzielt wird.

Fig. 14, 15 u. 16.

Baakenbrücke über den Magdeburger Hafen in Hamburg.

Fig. 14.

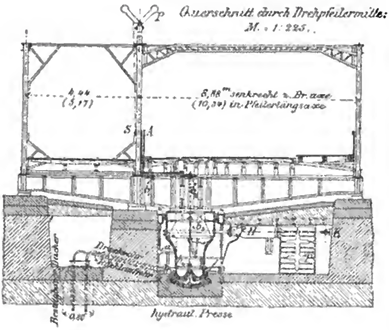


Fig. 15.

Horizontalschnitt durch den Drehpfeiler: M. = 1:200

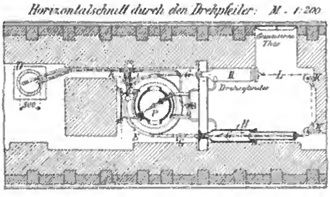
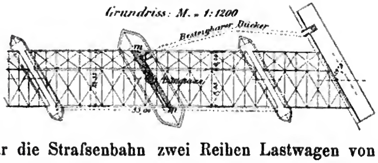


Fig. 16.

Grundriss: M. = 1:1200



Der Drehpfeiler hat daher eine Länge von 28 m bei 6,4 m Breite, und ruht auf 96 je 35 cm starken Grundpfählen, welche unter Wasser von Tauchern in gleicher Höhe abgeschnitten wurden.

Der eiserne Überbau wurde ganz aus Flufseisen hergestellt und ist die erste Brücke Deutschlands aus diesem Material, welche auch von Bahnzügen befahren wird. Nur die Niete wurden aus Schweifseisen hergestellt.

Die Hauptträger der Drehbrücken sind Halbparabelträger, 53,04 m lang, 5,75 m im Scheitel und 2 m an den Enden hoch mit schlaff konstruierten Schrägstäben und trogförmigen Gurtungen. Als veränderliche Lasten sind für das Geleis 3 Lastzuglokomotiven mit Tendern von 14 bezw. 9 t Achsdruck, für die Strafsenbahn zwei Reihen Lastwagen von 10 t Achsdruck und 3 m Achsstand, für den Fufsweg 400 kg/qm der Berechnung zu Grunde gelegt. Bei der Berechnung der eingedrehten Brücke wurde die Veränderlichkeit des Trägheitsmomentes der Haupt-

träger nicht berücksichtigt. Vom Eigengewicht trifft auf den mittleren Träger 3,25, auf die beiden äußeren 2,50 und 1,35 t/m Länge. Zur Querschnittsabmessung wurde die Weyrauch-Launhardt'sche Formel benutzt, jedoch statt des für Schweißeisen üblichen Grundwertes von 700 kg/qcm wegen der Verwendung von Flußeisen 900 kg/qcm gesetzt.

Die Eisengewichte der Drehbrücke ergeben sich wie folgt:

Die 3 Hauptträger	107,94 t
Die Querträger und Eckverspannungen	68,78 „
Die Fahrbahnträger	51,89 „
Windverstrebung und Geländer	14,14 „
Niete und Bolzen	6,80 „
Lager	8,50 „
	258,04 t

Die Hauptträger *m* (Fig. 16):	
Träger	36,63 t
Niete und Bolzen	1,10 „
Lager	5,54 „
	43,27 t
Daher Gesamtgewicht des Überbaues der Drehbrücke (ohne Mechanismus)	301,31 t

Die Bewegungsvorrichtungen der Drehbrücke. Als Betriebskraft dient das Druckwasser der städtischen Wasserleitung, dessen Spannung zwischen 2 bis 4 Atm. wechselt; es wurde daher zur Aufspeicherung der mechanischen Arbeit für das zweimalige Öffnen und Schließen der Brücke ein Kraftsammler in Anwendung gebracht und befinden sich die Hub- und Drehvorrichtungen in einem auf dem Landpfeiler errichteten Maschinengebäude (Fig. 17), sowie im Hohlraume des Drehpfeilers (Fig. 14 und 15). Der nutzbare Arbeitsdruck unter der Hebepresse in Brückenmitte beträgt 29 Atm.; das von letzterer zu hebende Gewicht setzt sich zusammen aus dem eisernen Überbau = 258 t, der hölzernen Fahrbahn = 98 t, dem Hauptquerträger = 43,3 t und dem Kolben der Hebepresse einschließlich verschiedener Steuervorrichtungen = 20,7 t; insgesamt 420 t; die hierfür auszuübende Kraft setzt sich zusammen aus der Kraft zur Hebung der eben gefundenen 420 t, der Kraft zur Überwindung der Stopfbüchsenreibung, veranschlagt zu 11 t, und dem zur Überwindung der aus einem Winddruck von 100 kg/qm hervorgerufenen Reibungswiderstand im Betrage von 16,4 t. Da die Brücke um 15 cm anzuheben ist, findet sich, bei reichlicher Bemessung des Kolbendurchmessers mit 143 cm, zum einmaligen Hub eine Druckwassermenge von 240 l. Das einmalige Öffnen und Schließen soll in 3 Minuten ausgeführt werden; hiervon sind erforderlich 15 Sekunden zum Anheben, 50 zum Ausschwenken, 50 zum Einschwenken, 15 zum Absenken und 50 für die übrigen Vorrichtungen. Die Kraft zur Beschleunigung der zu bewegenden Massen beträgt 1 t, die zur Überwindung der gesamten Kolbenreibungswiderstände 11,3 t und die der Stopfbüchsenreibung 11 t, und demnach das Gesamt-Drehmoment 31,37 tm. Die Gelenkgliederkette *G* (Fig. 15), deren Enden mit den Kolbenstangen zweier Drehcylinder *H* (Fig. 14 u. 15) verbunden sind, von denen der eine die Brücke öffnet, der andere sie schließt, erhält bei einem Kettenscheibendurchmesser von 248 cm einen Zug von 25,3 t, wofür ein Durchmesser von 34 cm für den Drehcylinder genommen wurde, zu dessen einmaliger Füllung mit Druckwasser 118 l, oder, da nur auf 4/5 des ganzen Hubes Druckwasser zugeführt wird, etwa 95 l nötig sind.

Bewegungsvorrichtungen. Die Hebepresse ist aus Gußeisen ausgeführt und der Kolben gegen Rostbildung mit einem Metallmantel versehen. Die Dichtung zwischen Kolben und Cylinder ist durch 3 Hanfflechten mit Gummiseele hergestellt. Der Hub der Drehcylinder *H* beträgt ungefähr 1,4 m und sind letztere, um ein Schlaffwerden der Gelenkkette *G* unter allen Umständen hintanzuhalten, durch die Kette *L* verbunden.

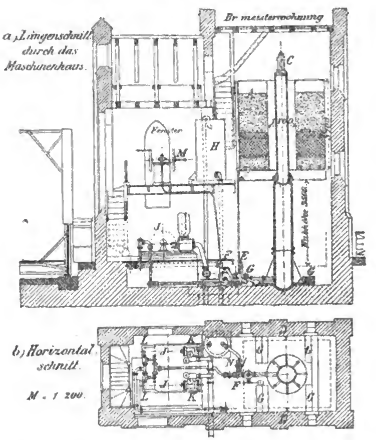
Die Steuervorrichtung ist einfach: Die Anhebung der Brücke geschieht durch Umlegen eines Hebels, der die Steuerung der Hebepresse mittels Ventilen bewirkt, die durch

Gegengewicht und Hebelübersetzung selbstthätig geschlossen werden; mit diesem Hebel ist gleichzeitig eine Riegelvorrichtung verbunden, die die Riegelung der Brücke an den Enden bethätigt. Die Vorrichtung ist so angeordnet, dafs einerseits die Einriegelung geschieht, bevor das Druckwasser unter die Hebepresse tritt, andererseits der Wiederverschlufs erfolgt sein mufs, bevor das den Verkehr freigebende Signal erscheint. Die Steuerung der Drehvorrichtung erfolgt unabhängig vom Heben und Senken der Brücke; die Drehbewegung der Brücke läfst sich nur ausführen, wenn sie auf die vorschriftsmäfsige Höhe angehoben ist.

Da der Hohlraum des Pfeilers unter Hochwasserhöhe liegt, aber immer trocken gehalten und zeitweilig betreten werden mufs, ist er durch die 2,7 t schwere eiserne Thür *T* (Fig. 14 u. 15) wasserdicht abgeschlossen; die durch eine Gummischnur bewirkte Dichtung hat sich vollkommen bewährt; die in Betracht kommende Wasserdruckhöhe kann 4 m erreichen.

Der zur Aufspeicherung der Betriebskraft für ein zweimaliges Öffnen und Schliefsen ausgeführte Kraftsammler *C* (Fig. 17) fafst 860 l Druckwasser; der nutzbare Hub ist auf 3,5 m bei 56 cm Durchmesser berechnet; das Belastungsgewicht von 76,4 t ist in dem eisernen Ballastkasten *A* untergebracht und besteht aus Eisenschrot und Sand. Drosselventile *E* und *F* begrenzen den Hub des Gewichtskastens in sicherer Weise und kann letzterer überdies auf den starken Hölzern *G* abgefangen und vom Kraftsammler getrennt werden. Das verbrauchte Wasser wird dem Sammelbehälter *H* und von diesem den Pumpmaschinen *J* zugeführt, sodafs ein geschlossener Kreislauf stattfindet.

Fig. 17. *Baakenbrücke über den Magdeburger Hafen in Hamburg.*



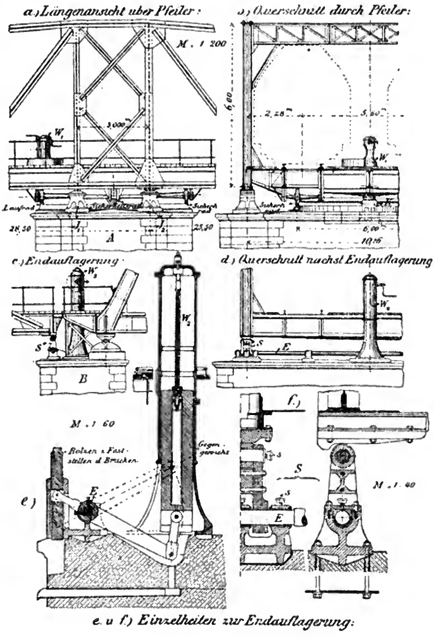
Die Überführung der beiden Rohrleitungen vom Maschinengebäude zum Drehpfeiler geschieht in einem besteigbaren, geschweifsten, 10 mm starken Dükerrohr *D* von 80 cm Durchmesser (Fig. 14, 15 u. 16); dadurch kann die Rohrleitung stets unter Aufsicht gehalten und jede Undichtheit sofort behoben werden. Das Kraftwasser erhält 50% Glycerin als Zusatz und bleibt dann bei 20° C. Kälte noch flüssig. Die Zwillings-Pumpenmaschine *L* (Fig. 17 *b*) liefert in 8 Minuten genügend Kraftwasser zum zweimaligen Öffnen und Schliefsen; das Wasser der städtischen Leitung wirkt unmittelbar auf die beiden Triebkolben *K* der Maschine, diese in Verbindung mit dem Differentialkolben *L* beziehen ihr Speisewasser aus dem Behälter *H* und drücken es gespannt in den Kraftsammler. Versagt die städtische Leitung, so können 4 Arbeiter mittels der Handzwillingspumpe *M* den Gewichtskasten *A* heben. Da das Leitungswasser nicht besonders rein, mufs es durch eine Reinigungsvorrichtung fliefsen, bevor es in die Pumpenmaschine gelangt.

Die Gewichte der Drehvorrichtung sind:

Hebepresse mit Steuervorrichtung	31,60 t
Drehcylinder mit Steuervorrichtung	11,38 „
Rahmenplatte mit Führungsrolle und Verankerung	10,92 „
Kraftsammler mit Gewichtskasten, ausschliefslich Ballast	22,08 „
Pumpenmaschine mit Zubehör	5,11 „
Handpumpe mit Zubehör	0,86 „
Rohrleitungen	3,16 „
Sammelbehälter	0,47 „
Wasserreinigungs-Vorrichtung	0,92 „
Riegel- und Puffer-Vorrichtung	2,07 „
Dükerrohr mit Zubehör	18,36 „
Zusammen	106,93 t

Die Brücke ist seit fast 8 Jahren in Betrieb und hat sich sehr gut bewährt; die erforderliche Zeit zu einem einmaligen Öffnen und Schliefsen beträgt 2 Minuten 20 Sekunden. Die Kosten der Drehvorrichtung betragen 62000 M., die des Maschinengebäudes 15000 M. ohne Vorarbeiten, Entwurf und Bauleitung; die Kosten des eisernen Überbaues, Fundierung u. s. w. sind nur für die ganze Brücke, einschliefslich der beiden festen Öffnungsfelder, angegeben.[2])

Fig. 18. *Eisenbahnbrücke über die Eider bei Friedrichstadt.*



Der eiserne Überbau wurde von der Aktiengesellschaft **Harkort** in Duisburg, die Drehvorrichtung von **Hoppe** in Berlin geliefert; die Bearbeitung des Entwurfes erfolgte durch **Weyrich** in Hamburg.

c. Eisenbahnbrücke über die Eider bei Friedrichstadt (Fig. 18), [Litt. 24].

In diese lange Bahnbrücke ist ein beweglicher Teil von 54 m Gesamtlänge in Form einer gleicharmigen zweigeleisigen Drehbrücke eingeschaltet; als Parabelträger mit Zugbandsystem und 6 m Höhe über Drehpfeiler $\left(\frac{6}{54} = \frac{1}{9}\right)$ nach dem Schwedler'schen System ausgebildet, kann sie in 2 Minuten von 2 Arbeitern um 90° gedreht werden. In eingedrehter Stellung bil-

[2]) Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1895, S. 326.

det sie einen durchgehenden Träger mit den ungleichen Spannweiten 28,5 und 25,5 m (Fig. 18 *a*); da sie zum Durchdrehen in beliebiger Richtung befähigt sein soll, sind sämtliche auf dem Pfeiler angebrachte Auflager J_1 und J_2 symmetrisch zum Pfeilermittel angeordnet und infolge dessen die Endauflager in einer von der üblichen Art abweichenden Weise ausgebildet (Fig. 18 *c* bis *f*). Unter jedem Endquerträger liegt eine Welle E (Fig. 18 *d* bis *f*), an deren beiden Enden je ein 0,50 m langer Doppelhebel mit zwischenliegender Walze zur Unterstützung der Hauptträger befestigt ist. In der Mitte der Welle E befindet sich (in Fig. 18 *d* durch W_2 verdeckt) ein 1 m langer Hebel, der behufs Heben und Senken der Stütze S (Fig. 18 *c*, *d*, *f*) mit der Spindel W_2 in Verbindung steht; diese Stützen S haben bei geschlossener Brücke den vollen Auflagerdruck der Hauptträger aufzunehmen. Das 800 kg schwere Gegengewicht (Fig. 18 *e*) bezweckt, das Heben und Senken der Enden zu erleichtern, das mittels des Windebockes W_2, während die Drehung der Brücke mittels des Windebockes W_1 (Fig. 18 *a* u. *b*) bethätigt wird.

Die statische Berechnung des Überbaues erfolgte nach der Formel $\sigma = 700\left(1 + \frac{S\ min}{S\ max}\right)$; als Verkehrslast wurden 5 t/m, als Eigengewicht 1,6 t/m und Geleise, für die belastete 150 kg/qm und für die unbelastete Brücke 250 kg/qm Winddruck angenommen, als Material Schweißeisen verwendet.

Der Drehpfeiler ist nicht rund, sondern länglich; die ausgedrehte Brücke ist deshalb, da sie in dieser Stellung über letzteren hinausragt, durch aus Holz gezimmerte Schwimmkörper[8]) gesichert; überdies sind noch Eisbrecher angeordnet. Die Bedienung erfordert 4 Wärter, von denen je 2 Dienst haben und für welche eine beizbare Bude vorgesehen ist. Die Brücke ist mit einer Signalvorrichtung ausgestattet, welche nur das Fahrsignal stellen läfst, wenn die Stützhebel S an den Brückenenden vollständig senkrecht stehen. Angaben über Kosten und Gewichte sind nicht gegeben.

d. Die Drehbrücke über die Peene bei Loitz (Fig. 19), [Litt. 14]

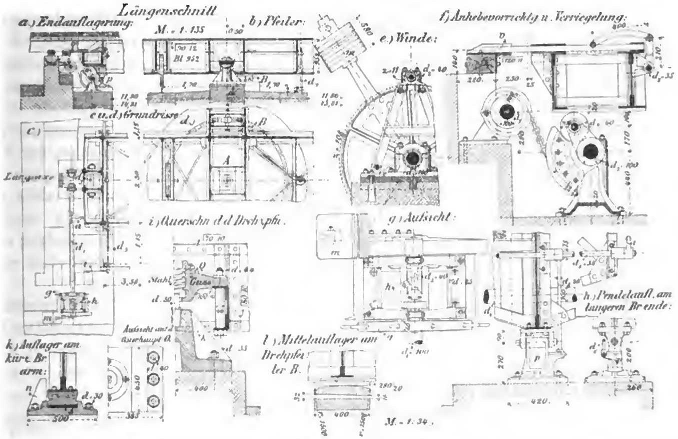
ist ungleicharmig und wurde an Stelle einer alten Holzbrücke auf massiven, auf Brunnen gegründeten Pfeilern errichtet; sie trägt eine 2,6 m breite Fahrbahn und 2 je 1 m breite Fufswege; letztere sind durch Kragarme an die als Blechträger ausgebildeten Hauptträger von 28,62 m Gesamtstützweite angeschlossen; Fahrbahn und Fufswege bestehen aus Bohlenbelag auf hölzernen Längsbalken. Die Mittelstütze B (Fig. 19 *b* u. *d*) für die eingedrehte Brücke ist um 0,50 m seitlich des Drehzapfens verschoben. Soll die Brücke ausgedreht werden, so wird die Endstütze des längeren Armes (Fig. 19 *a*) gesenkt und zwar so lange, bis die Mittelauflager B und das andere Endauflager druckfrei werden, wobei auf das Stützrad (Fig. 19 *b* u. *d*) 4 t treffen. Zur Verhütung des seitlichen Kippens dienen die beiden federnden Laufräder (Fig. 19 *d*), welche durch geeignete Vorrichtungen sehr genau eingestellt werden können, wobei der zulässige Druck auf die Federn je 2,5 t beträgt. Der Drehzapfen A (Fig. 19 *b*, *d* u. *i*) besteht aus einem unteren und oberen gufsstählernen Cylinder (Fig. 19 *i*), der obere ist aus einer gufsstählernen Spindel mit flachem Gewinde und unten kugelförmig abgerundetem Ende gebildet; der untere, als Pfanne dienend, ist oben kugelschalenförmig ausgedreht und mittels des Keiles k ebenfalls auslösbar. Bei eingedrehter Brücke soll zwischen beiden 1,5 mm Spielraum vorhanden sein.

Um die Brücke von den Lagern abheben zu können, ist am Ende des langen Armes unter der Brücke auf Böcken die Welle d_3 (Fig. 19 *c* u. *f*) gelagert, auf welcher 2 Daumen sitzen, an denen längere Ketten befestigt sind, die um 2 Kettenscheiben d_1 so geschlungen sind, dafs beim Aufwickeln der Kette der Daumen mit der Rolle d_3 gehoben, bezw. beim Aufwickeln gesenkt wird, womit zugleich das Brückenende sinkt, sofern vorher die Pendelstütze p (Fig. 19 *a* u. *h*) ausgedreht wurde; die Kettenscheiben sitzen

[8]) Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1890, S. 590 und Taf. 15, Fig. 14 u. 15.

auf der Welle d_1 und gleichfalls darauf ein Zahnrad mit auf diesem befestigtem Gegengewicht m (Fig. 19 c, e u. g); in das grofse Zahnrad greift ein Vorgelege mit Spill- und Sperrrad g (Fig. 19 g).

Fig. 19. *Drehbrücke über die Peene bei Loitz.*



Das Ausdrehen der Brücke erfolgt in folgender Weise: Durch Rechtsdrehen von g wird das längere Brückenende gehoben, die Pendel p heben sich ab und schwingen frei in den wagrechten Lagerbolzen. Nun wird die Winde gesperrt, hierauf werden die Pendel p durch den Hebel i (Fig. 19 h) um 90° gedreht und damit wird zwangläufig der Riegel v (Fig. 19 h) ausgelöst. Wird nun die Sperrvorrichtung der Winde wieder gelöst und das Spillrad g nach links gedreht, so beginnt der Brückenarm zu sinken bei gleichzeitig steigendem Gegengewicht, so lange bis die beiden Stahlzapfen bei A zur Berührung gebracht sind und das Stützrad sich auf die Laufschiene setzt, wobei gleichzeitig die Brücke sich von den Mittellagern B, sowie von den Endlagern (Fig. 19 k) abhebt. Schwebt die Brücke frei, so wird die Winde gesperrt und nun die Brücke mittels der Welle d_7 (Fig. 19 b) längs des am Drehpfeiler festgemachten Zahnkranzes gedreht. Die ganze Arbeit eines Ein- oder Ausdrehens leistet ein Mann bequem in 3 Minuten.

Das Hebewerk ist so gebaut, dafs das Gegengewicht den doppelten Weg wie die Daumenrolle zurücklegt, wodurch bei unveränderlichem Gegengewicht stetes Gleichgewicht erreicht und beim Heben oder Senken nur die Reibungswiderstände zu überwinden sind.

Der Bewegungsmechanismus erfordert 1893 kg Schmiedeeisen, 533 kg Stahl, 3182 kg Gufs und 37 kg Rotgufs.

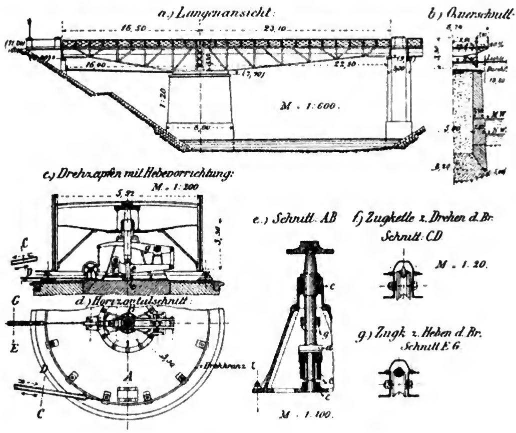
e. Drehbrücke mit Druckwasserbetrieb im Ruhrorter Hafen (Fig. 20 u. 21), [Litt. 75].

Um den Schiffen eine gröfsere nutzbare Breite zu gewähren (18,2 m nutzbare Lichtweite), wurde eine ungleicharmige Brücke gewählt; Geländerholm und Hauptträger-

obergurt liegen in gleicher Höhe. Zur Verminderung des Gegengewichtes wurde die Fahrbahntafel des kurzen Armes schwerer als die des langen ausgeführt. Bei 750 kg/qcm zulässiger Beanspruchung des Eisenüberbaues ist als veränderliche Belastung 400 kg/qm, bezw. 6 t Achsdrücke der Tragkraftberechnung zu Grunde gelegt worden. Der kreisrunde Pfeiler wurde nach der Methode der Brunnengründung ausgeführt, der Eisenüberbau, um die Schiffahrt nicht zu stören, in ausgedrehter Stellung auf festem Gerüste eingebaut.

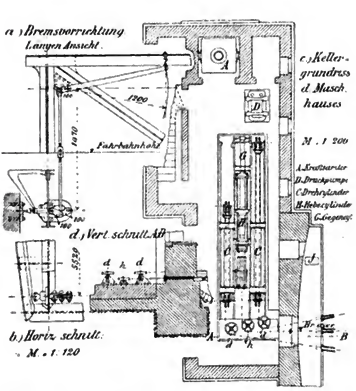
Fig. 20 u. 21. *Drehbrücke im Hafen von Ruhrort.*

Fig. 20.



Die Bewegung erfolgt durch Druckwasserbetrieb; bevor die Brücke ausgedreht wird, kommt das ganze Gewicht auf den bei *c* (Fig. 20 *e*) oben und unten geführten Drehzapfen, der mittels der seitlichen Ansätze *d* auf den 2 eisernen Tragbalken *e* ruht; letztere stützen sich einerseits auf das feste Stehlager *f*, andererseits sind sie mittels einer lotrechten Gelenkstange mit dem ungleicharmigen Hebel *g* (Fig. 20 *c* u. *e*) verbunden, an dessen langen Arm eine zum Maschinenraum (Fig. 21) führende Hubkette angreift. Die Hebelverbindung besitzt ein Übersetzungsverhältnis = 1 : 20. Das Anziehen der Hubkette erfolgt durch den Wasserdruckstempel *H* (Fig. 21); der Hub des Drehzapfens beträgt 6 cm, wobei noch 2 cm über den Auflagern Spiel bleibt. Auf dem Drehpfeiler ist ein Kranz von 12 liegenden Rollen (Fig. 20 *c*) gebildet, gegen die sich ein ⊏-förmiger Eisenring stützt, der zur Aufnahme der Drehketten dient. Da sich die Brücke nach beiden Seiten ausdrehen läfst, ist keine Riegelungsvorrichtung, wohl aber eine durch die Figuren

Fig. 21.



21 *a* u. *b* dargestellte Bremsvorrichtung angeordnet worden, deren Wirkungsweise aus den Figuren selbst ersichtlich ist und die sich gut bewährt hat.

Die Bewegung vermittelt der Kraftsammler *A* (Fig. 21 *c*), der, durch eine zweipferdige Gaskraftmaschine gespeist, Druckwasser von 35 Atm. liefert. Mittels des Gegencylinders *G* und einer besonderen Vorrichtung zwischen dem Hebecylinder *H* und der Hebekette wird eine wesentliche Ersparnis an mechanischer Arbeit erzielt. Die Druckcylinder *C* bethätigen das Drehen der Brücke. Die Wasserdruckmaschine ist in einem heizbaren, feuersicher überwölbten Raum aufgestellt. Das einmalige Anheben des Kraftsammlers erfordert 20 Minuten und genügt für 4maliges Öffnen und Schliefsen. Gewichtsangaben fehlen. Die Kosten der Maschinenanlage belaufen sich auf 21500, die des Maschinenhauses auf 6400, die des eisernen Überbaues auf 35200 M.; von letzterem Betrag müfste das Gewicht des anschliefsenden festen Öffnungsfeldes abgezogen werden. Für die Tonne Walzeisen der Drehbrücke wurden 335 M. bezahlt.

f. Strafsendrehbrücke über die untere Hafenmündung der neuen Rheinhafen-Anlage zu Ludwigshafen (Fig. 22).

Die ungleicharmige Drehbrücke mit einem polygonal geformten Drehpfeiler, dem diese Gliederung ein gefälliges Äufsere verleiht, hat eine Gesamtlänge von 51 m, bei 7,5 m Höhe über Drehpfeiler $\left(\frac{7,5}{51,0} = \frac{1}{6,8}\right)$ und 5,4 m Entfernung der beiden Hauptträger; die 5 m breite Fahrbahn wurde zur Gewichtsminderung aus hölzernen Querdielen, auf Längshölzern ruhend, angeordnet. Von den der Berechnung zu Grunde zu legenden Belastungsarten ergab ein zweiachsiger 10 t-Wagen mit 4 m Achsstand und 8 m Gesamtlänge in Verbindung mit 360 kg/qm gleichmäfsig verteilter Belastung die gröfsten Stabspannungskräfte; das Eigengewicht des langen Armes beträgt 1,25, das des kurzen 1,33 t/m. Die mittlere Stütze ist um 15 mm überhöht, wobei jedoch auch im ungünstigsten Fall an den beiden Endauflagern genügend grofse positive Auflagerdrücke vorhanden sind. Die Querschnittsberechnung erfolgte nach der Gerber'schen Schwingungsfestigkeit für die eingedrehte Brücke; für die ausgedrehte Brücke wurde als gröfste Spannung 800 kg/cm² zugelassen und von beiden so gefundenen Eisenzugflächen die gröfseren der Querschnittsbestimmung zu Grunde gelegt. Die Berechnung der Hauptträger erfolgte für die eingedrehte Brücke mit Berücksichtigung der vorhandenen Stabquerschnitte nach dem Verfahren L. Freytags.[4])

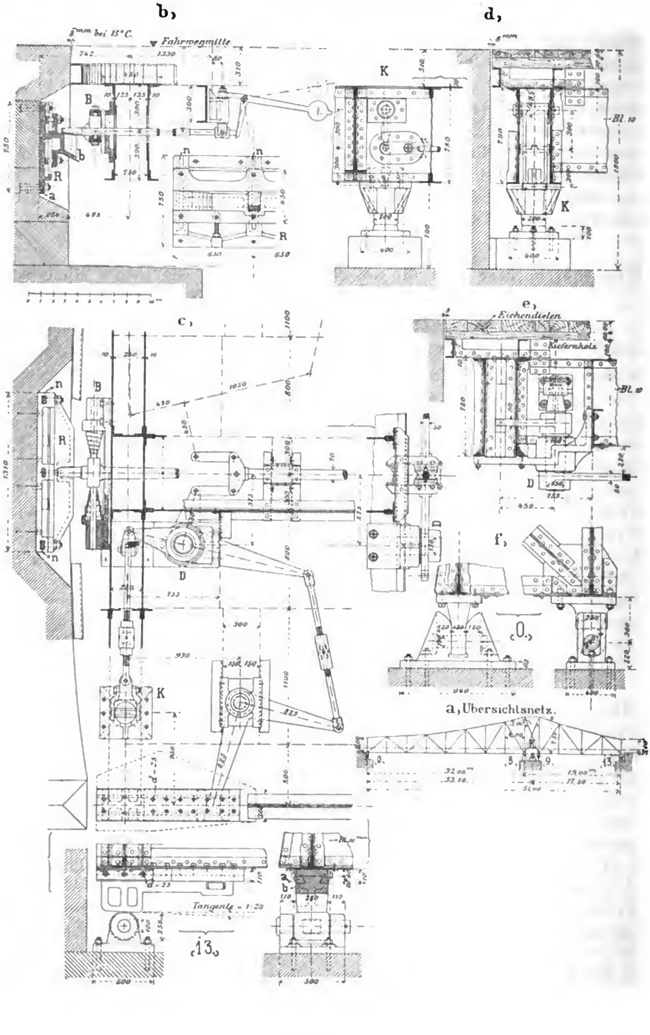
Vorgang beim Aus- und Eindrehen der Brücke: In eingedrehter Stellung lagert der Hauptträger bei *(0)*, *(8)* und *(13)* (Fig. 22 *a, d, c* und *f*) auf und übt daselbst die Auflagerdrücke 7,6, 164,5 und 25,4 t aus. Die Auflagerung bei *(8)* wird durch flach gewölbte, sich berührende Cylinder unterhalb des Hauptträgers bewirkt. Soll nun die Brücke ausgedreht werden, so wird durch ein Gestänge, in Verbindung mit einem Triebwerk nächst dem Pfeiler auf der Brücke, der zwischen dem doppelwandigen Endquerträger befestigte Kniehebel bei *K* (Fig. 22 *c* u. *d*) (der bei eingedrehter Stellung die in Fig. 22 *d* dargestellte, nahezu senkrechte Stellung einnimmt) und gleichzeitig das Auflagerstück *b* (Fig. 22 *c*, unten), welches in der mit dem Hauptträger fest verbundenen Platte *d* wagrecht in der Nut verschieblich ist, zurückgezogen, wodurch sich der kurze Arm, der mit 15,3 t Ballast-Beton in den Endfachen desselben beschwert ist, senkt. Ist die Senkung soweit fortgeschritten, dafs das Auflager *(0)* druckfrei geworden, so erhöht sich der

---

4) L. Freytag, Vereinfachung in der statischen Bestimmung elastischer Balkenträger. Leipzig 1892.

Fig. 22.

Drehbrücke an der unteren Mündung der neuen Rheinhafen-Anlage zu Ludwigshafen.

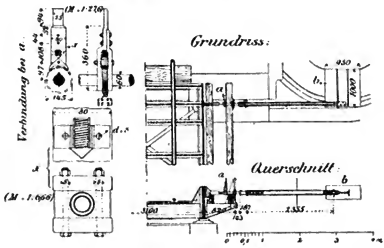


Auflagerdruck bei *(8)* auf 181,8 t, während bei *(13)* nur mehr 15,7 t Druck vorhanden sind, wobei bei der getroffenen Höhenanordnung der einzelnen Auflager der Königsstuhl bei *K* (Fig. 22 *d*) noch druckfrei geblieben. Durch weiteres Senken des kurzen Armes wird auch Auflager *(8)* druckfrei und der Königsstuhl erhält nun von beiden Hauptträgern zusammen 393,2 t, wobei ein Auflager *(13)* nur mehr 0,9 t Druck erfährt. Durch fortgesetztes Senken wird ferner auch Auflager *(13)* druckfrei; dafür kommt das Laufrad bei *(9)* zum Tragen und erhält schliefslich 8,3 t Belastung, wobei der Königsstuhl nur mehr 378,4 t zu tragen hat. Die Brücke kann nun ausgedreht werden, wobei aufser dem bereits erwähnten Laufrad bei *(8)* noch ein weiteres, symmetrisch hierzu in Bezug auf den Königsstuhl gelegen, vorhanden ist, um Seitenschwankungen der Brücke wirksam aufnehmen zu können.

Verriegelung der Brücke. Dieselbe erfolgt vorübergehend durch die in der Brückenlängsaxe befindliche Klinke am Ende des kurzen Armes, dauernd durch das feste Auflager am Ende des langen Armes in folgender Weise: Bei festgestellter Brücke nimmt die Klinke die in Fig. 22 *b* dargestellte Lage ein. Soll nun die Brücke ausgedreht werden, so mufs der Endquerträger *(13)* gesenkt werden; die Klinke bietet, da sie mit dem eisernen Überbau mittels einer wagrechten Drehaxe verbunden ist und aufserdem durch das Gegengewicht beständig gegen die Gufsplatte *R* (Fig. 22 *b* u. *c*) gedrückt wird, wie aus Fig. 22 *b* ersichtlich ist, dem Ausdrehen kein Hindernis. Wird die Brücke wieder eingedreht, so schleift die Klinke an der lotrechten Fläche der Gufsplatte *R*, bis sie, sobald die Brücke die Endstellung erreicht hat, im mittleren Ausschnitt der Platte *R* einschnappt und nun die Brücke festhält; der hierbei auftretende Stofs wird durch die federnde Pufferanordnung *B* unschädlich gemacht. Beim nun erfolgenden Anheben des kurzen Armes senkt sich gleichzeitig das Ende des langen Armes, bis es die in Fig. 22 *f* gezeigte Stellung erreicht hat, wodurch die Brücke genügend gegen die Wirkung seitlicher Kräfte verriegelt erscheint. Beim Absenken des kurzen Armes wird aber die Klinke aus dem Einschnitt gehoben, kommt wieder in die Ausgangsstellung (Fig. 22 *b*), und bietet nun einer Drehung der Brücke kein Hindernis. Die Drehung erfolgt gleichfalls durch ein Getriebe nächst dem Pfeilermittel in Verbindung mit Drahtseilen, welche sich kreuzend um einen auf dem Pfeiler fest verankerten gufseisernen Rillenkranz von 5 m Durchmesser und um eine an dem Überbau befestigte Rillenscheibe von 0,6 m Durchmesser schlingen. Die Bedienung der Brücke geschieht vollständig von der Brückenmitte aus.

Entwurf und Ausführung des eisernen Überbaues, einschliefslich der ganzen Bewegungsvorrichtungen erfolgte durch die Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg.

Fig. 23. *Eisenbahndrehbrücke bei Camp-Carnin über die Peene.*



g. Eisenbahndrehbrücke bei Camp-Carnin über den Peene-Strom (Fig. 23), [Litt. 31].

Das Drehfeld der eingeleisigen, bereits 1874—1876 erbauten Bahnbrücke, bestehend aus 2 vollwandigen Blechträgern von 43,9 m Länge und 1,95 m in der Mitte und 0,86 m Höhe über den Endauflagern bei

3,1 m Entfernung derselben, zeigte bei Inbetriebnahme der Bahn den Übelstand, dafs es nur mittels Flaschenzügen und Hebebäumen in die richtige Lage gezwängt werden konnte, da sich die beiden Hauptträger infolge der verschiedenen Bestrahlung durch die Sonne ungleich, und zwar vor- und nachmittags im entgegengesetzten Sinne, seitlich ausbogen, sodafs, wenn an einem Brückenende Schienenkopf gegen Schienenkopf stand, am anderen eine Verschiebung derselben bis zu 25 mm beobachtet wurde. Dieser Unzukömmlichkeit wurde im Jahre 1891 durch die in Fig. 23 dargestellte Anordnung, welche in 3 Minuten eine richtige Einstellung der Geleise gestattet, in erfolgreicher Weise abgeholfen. Das eine Brückenende ist mit dem in dem Turm eingemauerten Quader *b* durch die wagrechte Strebe derart verbunden, dafs durch die Knarrwelle *a* das Brückenende in die richtige Stelle gezwängt werden kann.

---

2. In England und englischen Kolonien.

a. Die Hawarden-Drehbrücke über den Dee-Flufs [Litt. 31]

hat 42,70 m Weite, die gröfste lichte Durchflufsweite in England. Der Wasserspiegelunterschied bei Ebbe und Flut beträgt 1,2 m. Aufser der doppelgeleisigen Bahn trägt sie mittels Kragarmen einseitig einen 1,22 m breiten Fufsweg (Fig. 24).

Fig. 24. *Hawarden-Drehbrücke über den Dee-Flufs.*

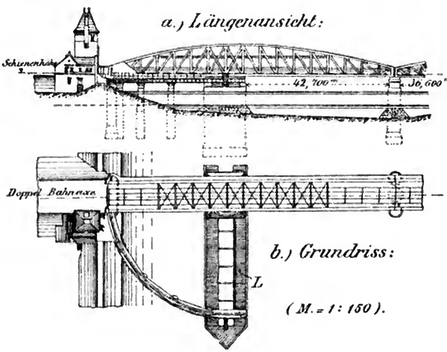
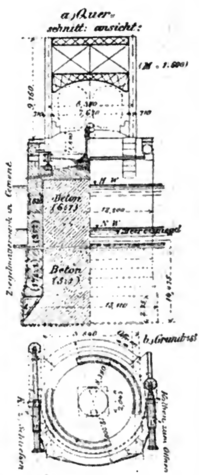


Fig. 25. *Drehpfeiler.*



Da der Sand des Dee den schlechten Ruf besitzt, sich auf die Fundamente im Flufs zu legen, wurde zu dem in Indien so vielfach angewendeten System der Brunnengründung in Ziegelmauerwerk gegriffen und, obwohl der Durchmesser des Drehpfeilers für diese Methode zu grofs ist, derselbe doch aus einem einzigen Cylinder von 12,20 m Durchmesser hergestellt. Der schmiedeeiserne Caisson von 13,11 m Durchmesser aus 12 mm dicken Blechen endet in einer 2,75 m hohen, keilförmigen Schneide (Fig. 25 *a*), mit Beton ausgefüllt, während die Caissonbleche 7,325 m hoch gemacht wurden, damit sie, wenn die Schneide die Flufssohle berührt, noch aus dem Flutwasser hervorragen. Auf dem Längenmeter der Schneide ruhten bei Beginn des Versenkens 20 t. Als der Caisson die Tiefe von 14,64 m unterhalb des Flufsbettes erreicht hatte, wurde er bis auf 5,49 m mit Cementbeton gefüllt und dann ausgeschöpft; die übrigen Arbeiten wurden im Trockenen ausgeführt. Für die Aufnahme des Königsstuhles wurde im Pfeilerhaupt ein Granitblock von 2,7 × 2,7 × 0,92 m eingemauert Trotz der grofsen Senkungstiefe und obwohl während des

Senkens infolge einer Springflut sich der Caisson, als er 1,53 m in das Flufsbett eingedrungen war, auf die Seite gelegt hatte, wich der Drehpfeiler nur um 12 mm aus der genauen Lage. Das Widerlager und der Pfeiler am Ende des langen Brückenarmes wurden aus mehreren kleineren Brunnen, die oben durch Gewölbe in Cementmauerwerk verbunden sind, gebildet und sämtlich durch Belastung geprüft, welche 50% mehr betrug, als Eigengewicht und Verkehrslast. Starke Holzkasten L (Fig. 24 b) schützen die geöffnete Brücke gegen anfahrende Schiffe; die Pfähle hierzu wurden nach dem System James Brunlees[5]), das auch bei Arbeiten am Hafen von Calais Verwendung fand und einen Pfahl in 2 Minuten 6 bis 8 m einzutreiben gestattet, geschlagen.

Die Drehbrücke besitzt folgende Hauptabmessungen und Anordnungen: zwei ungleiche Arme 35,53 und 51,32 m, Gesamtlänge 86,85 m, Hauptträgerhöhe an den Enden 2,60 m, in der Mitte 9,78 m $\left(\frac{9,78}{86,85} = \frac{1}{8,87}\right)$. Hauptträgerentfernung 8,38 m, Lichtweite 7,67 m, Fachteilung 5,185 m. Kastenquerschnitt für beide Gurtungen; die Schrägen sind steif, druckfähig ausgebildet. Die Schienen ruhen mittels der in England üblichen Lager auf Holzlangschwellen 40 × 12,5 cm und die ganze Brückentafel ist mit 6 mm starkem Blech abgedeckt. Als Material wurde weicher Stahl verwendet.

Die Brücke hat aufser der Dreh- auch noch eine Schaukelbewegung auszuführen, um das Abheben von den Auflagern zu bewirken; das lange Brückenende wird 200 mm angehoben (die elastische Senkung des langen Endes beträgt 87 mm), während der kurze, mit 15 t Mehrgewicht belastete Arm sich senkt. Das Wiederanheben desselben geschieht durch 2 unmittelbar unter den Hauptträgern angebrachte hydraulische Kolben von 625 mm Durchmesser und 218 mm Hubhöhe; ihre Tragkraft beträgt 300 t, da sie nicht nur das Übergewicht von 15 t, sondern auch den beträchtlichen Widerstand, den das Aufrichten der Hauptträger bietet und der nach Versuchen bis 269 t betragen kann, zu überwinden haben. Mit Ausnahme des eben erwähnten Übergewichtes von 15 t wird das Gesamtgewicht (732 t) auf die Hauptquerträger m (Fig. 27), deren Querschnitt nächst Königsstuhl und Hauptträger aus den Figuren 26 und 28 ersichtlich ist, und durch diese mittels des gufsstählernen Querhauptes a (Fig. 26) von 5,84 t Gewicht auf den Königsstuhl durch 2 Stahlbolzen von 225 mm kleinstem Durchmesser übertragen. Das Querhaupt a ist (Fig. 25 a) so hoch angeordnet, dafs es jederzeit der Besichtigung zugänglich bleibt und nahezu mit dem Gesamtschwerpunkt des ganzen beweglichen Teiles zusammenfällt. Das Querhaupt und die Bolzen sind auf 1000 t Belastung geprobt, überdies die Drehschemel (Fig. 28) angeordnet, welche bei etwaigem Bruch des Querhauptes oder der Bolzen die gesamte Last aufnehmen, bezw. die Brücke unabhängig vom Königsstuhl zu drehen gestatten. Sollte auch letzterer brechen, so senkt sich die Brücke um 25 mm auf den Drehpfeiler, der, um diesen Stofs aufnehmen zu können, mit einem kräftigen Ring aus Mauerwerk und Eisen abgedeckt ist.

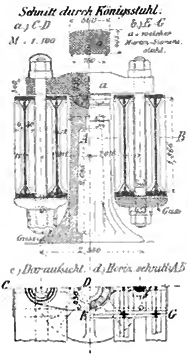
Der Drehzapfen (Fig. 26) ist durch ein Kugelsegment, in einer ebenso geformten Schale ruhend, gebildet; beide Stücke sind aus Schmiedeeisen mit gehärteter Oberfläche, soweit sie sich berühren; ihre gröfste Belastung ist 732 t, entsprechend einem Druck von 160 kg/qcm, unter der Voraussetzung vollständiger Berührung von Kugel- und Lagerfläche. In Wirklichkeit ist dieser Druck viel gröfser, da der Halbmesser der Kugelschale um 6 mm gröfser ist als jener des Kugelabschnittes (487 mm); die Reibungsfläche ist geölt (mit warmem Öl), welches nach 3 Drehungen erneuert wird; die Brücke wird täglich ungefähr 11 mal geöffnet. Man hat einen festen Königsstuhl einem hydraulischen vorgezogen, weil die lotrechte Bewegung der Brücke ohnehin anderweitig erreicht wird.

---

[5]) Génie civil, Bd. 21, S. 108.

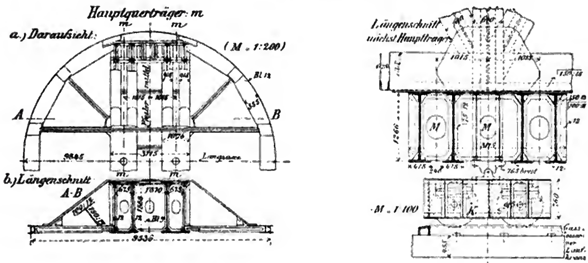
Die beiden Kolben für die Drehvorrichtung (Fig. 25 *b*), wagrecht und parallel, sind auf in Gufsmauerwerk eingelassenen Fundierungsplatten gelagert und mit Bolzen fest eingebunden; mittels Ketten mit dem Übersetzungsverhältnis 2 : 1 werden sie derart bewegt, dafs der eine Kolben die Brücke schliefst, während der andere sie öffnet. Das Ende jeder Kette ist auf dem Deckel jedes Cylinders befestigt, geht dann über eine Flaschenzugscheibe von 1,22 m Durchmesser, während das andere Kettenende die mit dem eisernen Überbau fest verbundene Trommel von 9,76 m Durchmesser halb umschlingt und die beiden Kolben in solcher Weise verbindet. Die Ketten sind möglichst kurz und ihre Glieder aus Stahl. Die Kolben besitzen 475 mm Durchmesser und 3,77 m Lauf; dies genügt für eine Drehung der Brücke um 90°.

Fig. 26.
Hawarden-Drehbrücke.



Bremse. Auf jedem Cylinderdeckel sitzt eine hydraulische Bremse, die mit der Bewegung der Kolben selbstthätig wirkt und langsames und stofsloses Anlaufen und Halten der Brücke bezweckt. Versuche ergaben in den Drehcylindern einen Gröfstdruck von 65 Atm., während für gewöhnliche Verhältnisse nur 50 Atm. erreicht werden. Die ganze Anlage ist durch eine mittels Dampfrohr heizbare Kabine, deren Dach sich unmittelbar unter der Hauptträgergurtung befindet, gegen Witterungseinflüsse geschützt.

Fig. 27 u. 28. *Hawarden-Drehbrücke.*



Von den bereits erwähnten Drehschemeln, die zur Führung der Brücke beim Drehen dienen, ist je einer an den Enden des Hauptquerträgers (Fig. 28) angeordnet; die gufsstählernen Rollen (915 mm) können durch die Stahlkeile *K* in den Lagern verstellt werden, sodafs man sie vollständig entlasten oder, wenn am Königsstuhl ein Bruch erfolgt, voll belasten kann. Für gewöhnlich haben sie blofs die Seitenkräfte aus Winddruck aufzunehmen. Durch die Einschaltung des 765 mm breiten Kipplagers (Gufs) zwischen Drehschemel und Querträger ist die erforderliche lotrechte, sehr kleine Schaukelbewegung der Drehbrücke ermöglicht.

Drehschemel am Widerlager und deren Laufbahn. Am Ende des kurzen Armes sind an der Aufsenseite der beiden Hauptträger ebenfalls Drehschemel mit je

2 Gufsstahlrädern (915 mm) befestigt; sie rollen auf einem Kreisrahmen von 35,07 m Halbmesser (Fig. 24 *b*) und können einen Bogen von 90° beschreiben. Jeder dieser beiden Drehschemel trägt eine kleine Winde und Prefskolben, um die Brücke von Hand drehen zu können, falls die Maschine versagen sollte. Die Laufbahn für diese Drehschemel ruht auf 11,59 m langen schmiedeeisernen, kastenförmigen Trägern, die auf mit Beton gefüllten Gufscylindern lagern. Unter den kastenförmigen Trägern sind in vor Wasser geschützter und doch leicht zugänglicher Lage die Prefswasserrohre, die vom Maschinenhaus am Cheshirer Ufer aus über *L* (Fig. 24 *b*) zu den Drehcylindern am Drehpfeiler führen, untergebracht.

Verriegelung der Brücke. Die lotrechte Schaukelbewegung hat nicht nur die Brücke in die richtige Stellung zu bringen, sondern die letztere auch zu sichern. Die Prefskolben heben das mit einem Anschlag versehene Ende des kurzen Armes; der Anschlag pafst in eine mit dem Widerlager fest verbundene Rille; gleichzeitig lagern sich die Enden des langen Armes auf Gufsplatten; nachdem so die Brücke in die richtige Stellung gelangt (eingedreht) ist, greifen feste Gufsblöcke unterhalb der Hauptträger in das Schwanzstück, bilden ein festes Auflager für den kurzen Arm und halten gleichzeitig die ganze Brücke gegen Drehung in wagrechter Richtung fest. Diese Blöcke werden durch Handhebel und Vorgelege vom Turm des Maschinenhauses aus bewegt; es ist zwar auch Wasserdruckbetrieb dieses Vorgeleges vorgesehen, man hielt es aber für sicherer, diese Verrichtung dem Maschinisten zuzuweisen, der unmittelbar gewarnt wird, wenn die Vorrichtung nicht richtig arbeitet, weil dann die Auflagerblöcke nicht an ihren bestimmten Platz treten. Ein Indikator nächst dem Handhebel zeigt dem Maschinisten den Augenblick an, in welchem die Auflagerblöcke ihre richtige Stellung eingenommen. Diese Blöcke sind stets zu reinigen und gut zu schmieren.

Die Motoren- und Dampfkessel-Anlage ist in dem Maschinenhaus am Ufer aufgestellt, am Ende des kurzen Brückenarmes. Die Einrichtung der Dampfmaschinen und hydraulischen Motoren ist doppelt. Es sind 2 Dampfkessel von je 12 und einer von 25 Pferdekraft mit 5 Atm. Druck aufgestellt; die zwei lotrechten, doppeltwirkenden Pumpen haben je 2 Cylinder von 350 mm Durchmesser und 250 mm Hub, 2 Kolben von 94 mm Durchmesser und ein Paar sich das Gleichgewicht haltende von 65 mm Durchmesser. Die beiden Kraftsammler mit Kolben von 512 mm Durchmesser und 4,27 m Hub erhalten durch Belastung (mittels Gufscylinderblöcken) von 92 t 50 Atm. Druck. Der Fassungsraum jedes Kraftsammlers genügt für ein einmaliges Öffnen und Schliefsen und jede Pumpe hebt das Belastungsgewicht des Kraftsammlers in 10 Minuten in die höchste Stellung. Kraftsammler und Pumpen besitzen eine selbstthätige Vorrichtung zum Abgehen und Halten der Brücke; ebenso erfolgt der Schienen- und Fufsgängerweg-Verschlufs selbstthätig vom Maschinenhaus aus.

Alle hauptsächlichen Vorrichtungen sind mit Signalen für elektrische Mitteilung derart verbunden, dafs dieselben nicht gegeben werden können, bevor alles in Ordnung ist, nicht nur die Brücke selbst, sondern auch die beiden Zufahrten.

Der zum eisernen Überbau verwendete Stahl hat 4900 kg/qcm Bruchfestigkeit und 49,3% Dehnung auf 250 mm Länge mit einer Einschnürung von 24,4%. Angaben über Gewichte und Kosten sind nicht gemacht.

b. Drehbrücken über den Manchester-Schiffkanal
[Litt. 39 und 60.]

Der Bau dieses Kanales erforderte eine beträchtliche Anzahl von Brücken, von denen eine nicht unerhebliche Anzahl als Drehbrücken ausgeführt werden mufste. Eisenbahnen wurden ausschliefslich mittels fester (hoch gelegener) Brücken über den Kanal geführt; es enthält demnach die nachstehende Tabelle nur die wichtigsten Angaben über die ausgeführten:

α) Strafsendrehbrücken über den Manchester-Schiffkanal.

Name	Licht-weite	Strafsen-breite	Langer Arm	Kurzer Arm	Gröfste Hauptträger-höhe	Rollen-zahl	Rollen-durch-messer	Gewicht
	m	m	m	m	m		m	t
Old Quay, Runcorn . . .	36,58	6,10	42,38	29,52	8,53	60	6,98	650
Moore-lane	36,58	7,62	42,67	29,87	8,45	64	8,48	790
Stag. Inn	36,58	7,62	42,67	29,87	8,43	64	8,48	790
Northwich-road	36,58	10,97	45,11	30,48	9,14	60	11,81	1350
Knut food-road	36,58	10,97	45,11	30,48	9,14	60	11,81	1350
Barton bridge	24,38	7,62	33,82	24,69	7,92	64	8,48	640
Trafford road	22,86	14,01	38,71	23,77	9,14	64	15,09	1800

Die allgemeine Form der Hauptträger, sowie auch der unten zu besprechenden Barton-Aquadukt-Brücke ist aus Fig. 29 zu entnehmen; der Gurtquerschnitt ist trogförmig, die Schrägstäbe gröfstenteils steif (H-förmig) ausgebildet (Fig. 30); die aus letzterer Figur ersichtliche Anhängung der Ausfüllungsstäbe mittels der überaus knapp bemessenen Knotenbleche an die Stehbleche der Gurtungen giebt jedenfalls Veranlassung zu bedeutenden Nebenspannungen an den Knotenpunkten. Alle eisernen Überbauten dieses Kanales wurden, mit Ausnahme der Buckelplatten der Fahrbahn, für welche Schweifseisen verwendet ist, aus weichem Martin-Siemens-Stahl von 4,2 t/qcm Mindest- und 4,8 kg/qcm Gröfstbruchfestigkeit, bei 20% Dehnung auf 203 mm und 35% Einschnürung ausgeführt. Die Fahrbahntafel ist sehr schwer, meistens aus 19 mm[6]) dicken Buckelplatten, mit Beton überdeckt, worauf 25 mm Sand, dann 19 mm Asphalt oder 127 mm dickes Holzpflaster kommt; die Fufswege sind aus 178 × 102 mm starken *pitch-pine*-Hölzern oder asphaltiert; um das Gewicht der Fahrbahn zu mindern, sind die vollwandigen Blechquerträger mit geradem Unter- und nach der Fahrbahnoberfläche gekrümmtem Obergurt ausgeführt. Über dem Drehpfeiler werden fast alle Drehbrücken durch die bekannten Laufkränze mit konischen Laufrollen[7]) unterstützt, wobei die Laufkränze mit dem Centralzapfen, der nicht zu tragen, sondern nur zu führen hat, durch Radialstäbe verbunden sind; die konischen Rollen der Laufkränze sind bei ungefähr 360 mm mittlerem Durchmesser 711 mm lang.

Fig. 29. *Drehbrücke über den Manchester-Schiffkanal.*

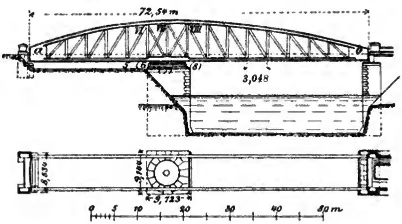
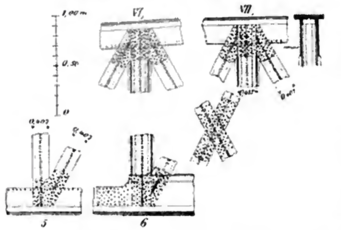


Fig. 30. *Einzelheiten der Drehbrücken über den Manchester-Schiffkanal.*

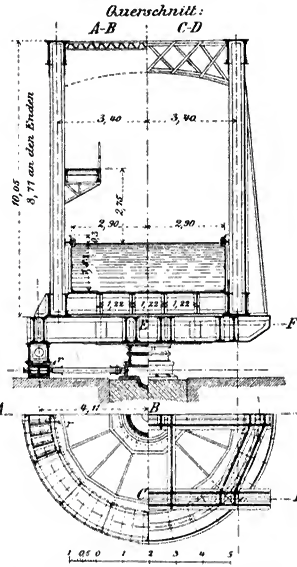


β) Die Barton-Kanal-Drehbrücke (*swing aqueduct*) ist die erste der Schifffahrt dienende Kanalbrücke überhaupt (Fig. 31). Die Schiffe können nur mit niedergelegten Masten durch dieselbe fahren, und es beträgt die nutzbare Wassertiefe des aus 10 mm starken Blechen angefertigten Troges 1,83 m. Der innere Leinpfad (Fig. 31) kann von Pferden begangen werden. Die äufsere Form der Hauptträger stimmt mit

[6]) Engineering 1894 I, S. 119.
[7]) Engineering 1894 I, S. 120 u. 121.

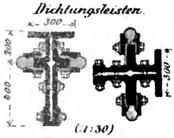
Fig. 29 im allgemeinen überein; nur ist die Brücke selbstverständlich gleicharmig und besitzt eine Länge von 71,67 m bei 10,05 m Höhe über dem Drehpfeiler $\left(\frac{10,05}{71,67}=\frac{1}{7,12}\right)$. Die Notwendigkeit, die Brücke mit gefülltem Wassertrog ausdrehen zu können, führte zur Anordnung ganz besonderer Verschlüsse an den Enden; das gesamte zu bewegende Gewicht einschliefslich des Wassers beträgt 1600 t; hiervon werden jedoch in diesem Falle nur 800 t von dem Rollenkranz, die übrigen 800 t von dem als hydraulische Presse ausgebildeten Königsstuhl übernommen. Da die Drehvorrichtung über dem Pfeiler nicht nur die Brücke zu drehen, sondern auch Verschiebungen des Wassers nach den Enden hin zu verhüten hat, stützen sich die Hauptträger auf drei doppelwandige, kastenförmige Querträger (Fig. 31), die ihrerseits beim Drehen auf einem schmiedeeisernen, kastenförmigen Ringträger ruhen. Der Cylinder des Königsstuhles ist aus Gufseisen, nur 686 mm tief, bei 1,46 m lichtem Durchmesser; unter den Prefskolben dieses Cylinders wird erst beim Anheben der Brücke Druckwasser geleitet und nur so lange, bis ungefähr 800 t von der Presse aufgenommen sind, wobei der Rollenkranz um den gleichen Betrag entlastet wird. Die Drehkraft wird mittels zweier Zahnradgetriebe gewonnen, die in den an der Aufsenseite des Rollenkranzringes angebolzten gezahnten Stahlkranz eingreifen, und durch eine zweicylindrige oscillierende Wasserdruck-Maschine gebräuchlicher Gattung angetrieben werden.

Fig. 31. *Barton-Kanal-Drehbrücke. Querschnitt über Drehpfeiler.*



Der Abschlufs der Kanal-, sowie der beiden Brückenenden geschieht durch je ein einflügeliges, doppelwandiges, um eine senkrechte Axe drehbares Eisenthor; die Dichtung mittels Gufsstücken und Holzanschlag; die Drehung der Thore mittels Prefswasser.

Fig. 32. *Barton-Kanal-Drehbrücke.*



Die Dichtung der zwischen Kanal- und Brückenende verbleibenden Fuge wird erzielt durch den ganzen Kanalrand umschliefsende Keilstücke, in welche Kautschukleisten (Fig. 32 schraffiert) eingezwängt werden; die Hebung und Senkung eines solchen 12 t schweren Stückes erfolgt hydraulisch durch 4 Stempel, von denen 2 oben, 2 unten angreifen.

Zur Abmilderung aller Stöfse beim Eindrehen der Brücke sind Wasserdruck-Puffer, zum Feststellen der Brücke ist ein Bolzen, der beim Schliefsen der Brücke einklinkt, angeordnet.

Zur Bedienung der Brücke sind 4 hydraulische Maschinen aufgestellt, 2 für die Drehbewegung und je eine an den Brückenenden zur Bedienung der Thore und Dichtungsleisten. Nächst der Kanalbrücke steht die hydraulische Kraftstation, deren Maschinen und Pumpen gleichzeitig für die in nächster Nähe befindliche Strafsenbrücke dienen, wobei die Bewegung beider Brücken von einem gemeinsamen Steuerturm aus geleitet wird. Das Drehen der Kanalbrücke erfordert nur wenige Minuten. Nähere Gewichts- und Kostenangaben sind nicht gegeben.

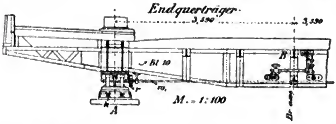
c. Die Clarence-Brücke über den Taff-Flufs bei Cardiff [Litt. 38].

Die 58,11 m lange, in Mitte 7,62 m $\left(\frac{7,62}{58,11} = \frac{1}{7,6}\right)$, an den Enden 5,18 m hohe, zwischen den Geländern 12,19 m breite, oben geschlossene Drehöffnung dieser Strafsenbrücke nimmt in verschiedener Hinsicht unter den neueren englischen Drehbrücken eine Sonderstellung ein. Deren Hauptträger wurden nach amerikanischem System mit Gelenk-Knotenpunkten aus steifen, trogförmigen Druck- und schlaffen Zuggliedern ausgebildet und sogar die in England erzeugten Schrägstäbe (Zugbänder, sogenannte Augenstäbe) nur des Ausschmiedens der Gelenkköpfe[8]) halber nach Amerika und dann wieder zurückgeschickt; ferner ist diese Drehbrücke in England, und soviel uns bekannt auch sonst, die einzige, bei welcher der Versuch gemacht wurde, auch für die eingeschwenkte, belastete Brücke ein statisch bestimmtes Hauptträgersystem zu erhalten; sie hat nämlich ein schrägstabfreies Pfeilerfeld (Querkraft-Nullfeld) und bildet so zwei statisch bestimmte Kragarme, die über dem Pfeiler nur durch die beiden wagrechten Gurtungsstäbe miteinander verbunden sind (ein Grundgedanke, der 1883 bei der von Schneider erbauten Niagarafall-Brücke[9]) bereits Anwendung fand). Der Drehpfeiler hat nicht nur bei geöffneter Stellung der Brücke das ganze Eigengewicht, ungefähr 500 t, sondern auch bei eingedrehter Stellung aufser diesem noch die Verkehrslast (für die, wegen der Nähe der Docks, zweiachsige 40 t-Wagen zu rechnen waren) zu tragen.

Die Fahrbahn (Fig. 33) besteht aus kreosotiertem Holzpflaster auf Beton und eisernen Buckelplatten; die Fufswege sind nach einem patentierten Verfahren (Beton) gepflastert. Hölzerne Schlagbäume und Thüren schliefsen die Brücke, die von 4 Mann in 5 Minuten geöffnet werden kann, ab, wenn sie ausgedreht ist. Da der Zwischenraum zwischen Fahr- und Fufsweg mit Gufsplatten abgedeckt, ist der Zwischenverkehr sehr bequem. Die schmiedeeisernen Geländer sind mit gufseisernen Verkleidungsstücken reich geschmückt und daher sehr schwer. Die Gründung des Drehpfeilers erfolgte durch das Luftdruckverfahren und wurde der Pfeiler nach seiner Vollendung mit 1000 t künstlich belastet (dies überschreitet die gröfstmögliche thatsächliche Belastung durch die Brücke selbst um 30%), wobei eine Senkung von 8 mm beobachtet wurde. Die Enden der ausgedrehten Brücke erhalten durch hölzerne Abweiser *(pitch-pine)* Schutz gegen anfahrende Schiffe.

Fig. 33.

Clarence-Brücke über den Taff-Flufs b. Cardiff.



Beachtenswert an der Einzelanordnung des bereits kurz beschriebenen eisernen Überbaues ist die Art, wie das lästige Klappern der schlaffen Gegenschrägstäbe in der oberen Windverspannung, durch auf sehr einfache Weise denselben erteilte künstliche Anspannung (nach vorliegender Mitteilung mit Erfolg) hintangehalten wird. (Es ist jedoch in jeder Hinsicht empfehlenswert, schlaffe Ausfüllungsbänder bei beweglichen Brücken überhaupt nicht zu verwenden.)

Feststell- und Getriebevorrichtungen. Je 2 Längswellen laufen an jeder Seite der Brückenlängsaxe von der Pfeilermitte zu den Brückenenden; die eine hemmt mittels eines entsprechend ver-

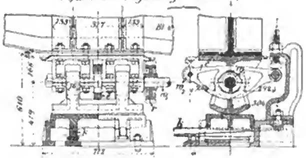
[8]) W. Ritter, Der Brückenbau in den vereinigten Staaten Nord-Amerikas. Bern 1894. S. 25 bis 28.

[9]) A. Hübner, Der durchgehende Träger mit Querkraft-Nullfeldern. Zeitschr. f. Bauw. 1891, S. 552.

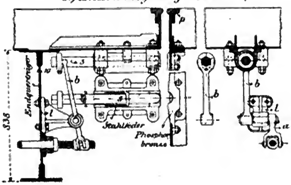
bundenen Federbolzens *s* (Fig. 34 *b*) die wagrechte, die andere (Fig. 34 *a*) schliefst die lotrechte Bewegung der Brücke. Beide werden durch je ein Gangspill, deren Ansatz für gewöhnlich mittels Gufsdeckel abgeschlossen ist, von der Brückenmitte aus durch Kegelräderübersetzung angetrieben. Fig. 34 *b* zeigt die Einzelheiten der am Endquerträger bei *B* (Fig. 33) angebrachten Endverriegelung, deren Wirkungsweise ohne weiteres aus der Figur ersichtlich ist. Die Sperrvorrichtung in lotrechter Richtung ist durch Fig. 34 *a* dargestellt. Sie besteht im wesentlichen aus einem gufseisernen Kipper *(rocker)* und einem Sperrhebel *e (locking)* aus schmiedbarem Gufs, von denen ersterer an den beiden Aufsenexcentern, der letztere auf dem Mittelexcenter der Excenterwelle W_1 (Fig. 34 *a*) sitzt. Da nun der Aufsenexcenter 19 mm, der innere nur 9,5 mm Excentrizität besitzt, wird für die in Fig. 34 *a* dargestellte Stellung eine halbe Drehung der Welle W_1 den Kipper um 38 mm heben und das Rollenende der Sperrhebel dabei um einen entsprechenden Betrag senken. Die Bewegung der Excenterwelle erfolgt durch W_3 (in Fig. 33 irrtümlich mit W_1 bezeichnet) mittels eines Zahnräderpaares *r* (in den beiden Figuren 33 u. 34 *a* ist nur das vorn gelegene Zahnrad sichtbar). Die Fufsplatte *k* (Fig. 34 *a*) ist durch Keile genau einstellbar. Während der Brückendrehung befindet sich also der Kipper in der niedrigsten und der Sperrhebel *e* in der höchsten Stellung. Die Fufsplatte ist dabei durch die Keile (Fig. 34 *a*) nur soweit angekeilt, dafs sie das Brückenende gerade berührt, ohne dieselben um einen merkbaren Betrag zu heben, damit keine Kräfte in den Hauptträger gelangen. Diese ganze Vorrichtung wurde verstellbar eingerichtet für zeitweilige Änderungen in den Gewichten (z. B. der Fahrbahntafel).

Fig. 34. *Clarence-Brücke.*

a) Endauflagerung: M. 1:33,3.



b) Endverriegelung: M. 1:33,3



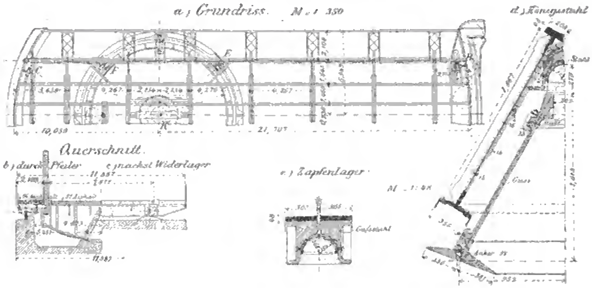
Die Drehbewegung erfolgt mit dem üblichen Zahnkranzgetriebe auf dem Rollenkranz, aus konischen Stahlrollen bestehend, von Brückenmitte aus. Der eiserne Überbau wurde aus weichem Stahl *(mild steel)* hergestellt, mit Ausnahme der Buckelplatten, für welche Schweifseisen verwendet wurde. Eisengewichte der Drehbrücke: Hauptträger 82,40 t; obere Verspannung 16,30 t; Fahrbahn 144,90 t; Geländer 16,35 t; Dreh- und Feststellgetriebe 9,10 t; Drehkranz und Zubehör 80,40 t; zusammen 349,45 t. In den eingehenden Kostenangaben ist leider die Drehöffnung nicht ausgeschieden.

d. Drehbrücke über den Glamorganshire-Kanal [Litt. 36].

Diese Strafsenbrücke, deren Hauptabmessungen und Anordnung aus den Figuren zu entnehmen ist, kreuzt den Kanal unter 73° und wird auch immer unter diesem Winkel gedreht.

Die Hauptträger haben geraden Untergurt und geschweiften Obergurt mit engmaschigem Netzwerk aus Flacheisen, abgesteift durch Pfostenwinkel. Das ganze Eigengewicht ruht auf dem Kugelzapfen und dem eigenartig gestalteten Königsstuhl *d*; der Ballast des kurzen Armes beträgt 133 t; die Verkehrslast wird durch die Räder *B*, bezw. *C*, die durch Federn auch bei unbelasteter Brücke in steter Berührung mit der Laufbahn bleiben, an den Enden und dem Königsstuhl aufgenommen; die Räderpaare *E* und *F* stützen die ausgeschwenkte Brücke gegen Winddruck, liegen jedoch bei eingedrehter Brücke nicht auf; sämtliche Räder sind in der Höhenlage genau verstellbar. Jedes der 4 Räder *B* und *C* besitzt ein gesondertes Auflager (Fig. 35 *c*) mit geneigten Anlaufflächen zum Eindrehen der Brücke; letztere ist deshalb jedenfalls beim Einschwenken Verdrehungskräften ausgesetzt. Für die Bewegung sind 2 Zahnradgetriebe von Hand angeordnet; mit dem langsamen Getriebe benötigen 2 Mann: 4 Minuten und 2 Sekunden, mit dem schnellen 4 Mann: 2 Minuten 10 Sekunden für eine Drehung um 73°. Der Reibungsbeiwert für den Kugelzapfen, dessen Kuppe und Schale aus bestem Tiegelgufsstahl (bis zur gelben Anlauffarbe gehärtet) besteht, wird mit 0,118 angegeben.

Fig. 35. *Drehbrücke über den Glamorganshire-Kanal.*

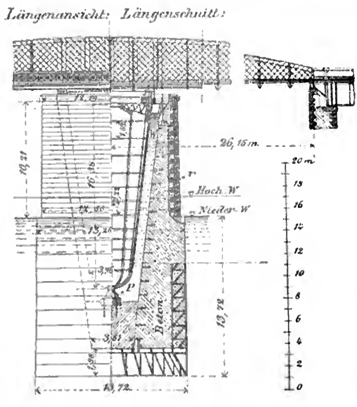


e. Entwurf einer schwimmenden Drehbrücke im Darling-Hafen bei Sidney (Neu-Süd-Wales) [Litt. 48].

Die gleicharmige Strafsendrehbrücke besitzt 2 Durchfahrtsöffnungen von je 18,29 m Lichtweite und ist 11,58 m breit; sie ist für sehr schwere Belastung 635 kg/qm, bezw. zweiachsige 30 t-Wagen berechnet.

In dem hohlen, teilweise mit Wasser gefüllten Drehpfeiler schwimmt ein umgekehrter, ebenfalls hohler Stahlblech-Konus, der beim Ausdrehen der Brücke zum Schwimmen gebracht wird, wobei, von der Windwirkung abgesehen, als einziger Widerstand die Reibung dieser schwimmenden Boje (aus 9,5 mm dickem Blech) zu überwinden ist; die letztere ist entsprechend abgesteift.

Fig. 36. *Drehbrücke im Darling-Hafen bei Sidney (Australien).*



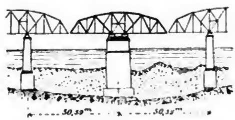
Der Drehpfeiler besteht aus Portlandcement-Beton mit Granitquadern verkleidet. Bei geschlossener Brücke ruht die Last auf dem Drehzapfen *P*, dabei ist die Boje oben durch 16 stellbare Rollen in einem ringförmigen Kasten geführt. Die Schwimmboje ist durch Mannlöcher der Überwachung zugänglich gemacht; auch zwischen der Innenfläche der Pfeiler und der Boje ist ein besteigbarer Zwischenraum von 0,76 m freigehalten. Durch Heben und Senken des Wassers im Pfeiler kann man den Druck auf den Drehzapfen *P* beliebig grofs erhalten. Die Verbindung des Zapfens *P* mit der Boje wird in allen Stellungen der Brücke aufrecht erhalten; die Brücke kann so in verschiedenen Höhenlagen gedreht werden. Der Überschufs der Boje

an Schwimmkraft wird durch Ballast ausgeglichen. Mit Rücksicht auf Rostbildung wird nur frisches Wasser benutzt, das mittels einer Rohrleitung, die mit Hähnen und Ventilen versehen ist, zugeführt wird. Die Ein- und Auslafshähne zum Heben und Niederlassen der Brücke sind doppelt angeordnet und werden vom Fahrweg aus bedient. Das Drehgetriebe, aus Zahnrad, Führungsrollen u. s. w. bestehend, kann von einem Mann bedient werden, nur ist für besondere Fälle (Wind) ein langsames Getriebe vorgesehen. Die Brücke kann durchgedreht werden. Vor der Drehung mufs die Brücke um 51 mm gehoben werden; die Ausbildung des Fufslagers läfst eine Hebung bis zu 100 mm zu, welche selbst im Falle des Versagens eines Ventiles nicht überschritten werden kann.

An den beiden Widerlagern sind Schlagbäume, welche so mit der Brücke verbunden sind, dafs dieselbe nur geöffnet werden kann, wenn erstere geschlossen sind.

Für die eben besprochene Brücke lag auch der in Fig. 37 skizzierte Entwurf eines amerikanischen Ingenieurs vor, der die weite Pfeilerstellung wegen der grofsen Gründungstiefe wählte; er bezweckt durch die Freilage der Enden der Drehbrücke eine Verminderung erfahrungsgemäfs auftretender Störungen beim Öffnen und Schliefsen der von der Sonne ungleich beschienenen Hauptträger. Bei aufgedrehter Brücke müssen die Kragarmenden der festen Öffnungen durch hölzerne Schutzwerke gegen anfahrende Schiffe gesichert werden.

Fig. 37. *Entwurf.*

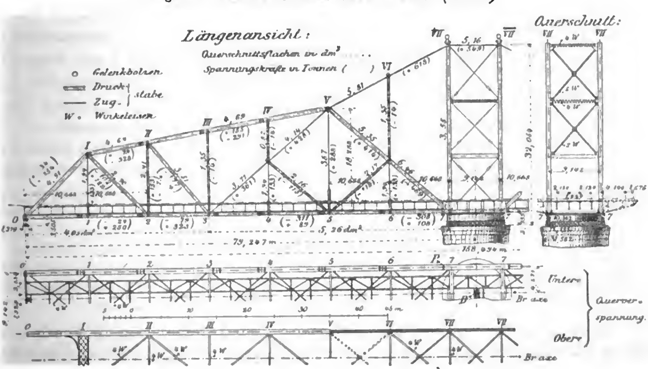


3. In den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika.

a. Das Drehfeld der Interstate-Brücke in Omaha (Nebr.) [Litt. 55]

ist gleicharmig (wie fast alle grofsen amerikanischen Drehbrücken), und besitzt eine Gesamtlänge von 158,494 m bei 32,054 m Höhe über dem Drehpfeiler, welcher den gewaltigen Durchmesser von 31,58 m hat $\left(\frac{32,05}{158,49} = \frac{1}{4,95}\right)$; sie ist zur Zeit die längste

Fig. 38. *Interstate-Brücke in Omaha (Nebr.)*



und eine der schwersten Drehbrücken der Welt, da ihr Gewicht mit den vorderhand nur ausgeführten Doppelbahngeleisen 1360 t beträgt, das sich, wenn die in der Figur punktierten Kragarme an den Trägeraufsenseiten für die Trambahnen und Fufswege hergestellt sein werden, auf rund 2000 t erhöhen wird. Die erforderlichen Spannungskräfte und Querschnittsflächen sind in der Figur eingeschrieben; die Fachweite ist sehr grofs: 10,67 m und das 9,14 m lange Pfeilerfach ist nahezu bezüglich der Scherkräfte ein Nullfeld, da die doppelten Spannschrägen desselben nur sehr kleine Kräfte aufnehmen können. Die Knotenpunkte sind nach der üblichen amerikanischen Bolzenkonstruktion durchgebildet. Die Tragkraft-Berechnung erfolgte für 490 kg/qm Belastung durch Verkehrslast, 835 kg/m Winddruck auf den Unter- und 405 kg/m auf den Obergurt, sowie Eigengewicht 11,45 t/m Brücke. Alles Material bestand aus weichem Stahl (Herdstahl), ausgenommen die mittels Schrauben spannbaren Glieder, welche aus Schmiedeeisen hergestellt wurden.

Fig. 39 u. 40. *Interstate-Brücke. Drehvorrichtung.*

Fig. 39.

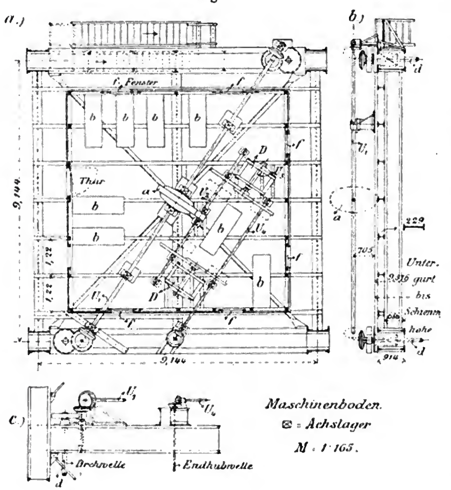
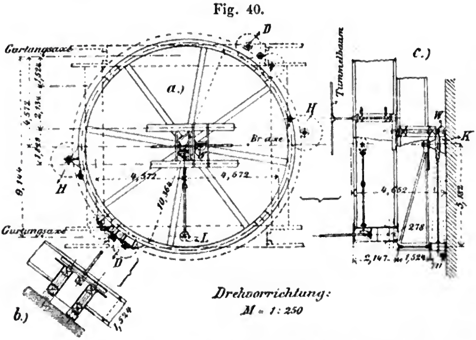


Fig. 40.



Trotz der bedeutenden Spannweite und Belastung überschreiten die in der Figur eingeschriebenen Eisenzugflächen infolge der grofsen Trägerhöhen nirgends die verhältnismäfsig kleine Querschnittsfläche von 581 qcm.

Die Bewegung der Brücke erfolgt durch zwei 40pferdige Dynamomaschinen *D* (Fig. 39), die im ersten Stockwerk des Turmpfeilers aufgestellt sind und 270 Umdrehungen in der Minute machen.

Drehbewegung. Die Dynamos übertragen durch Zahnrädergetriebe (Fig. 39, U_2 und U_3) ihre Kraft auf den Ausgleicher *(equalizer)* *a*, der die wagrechte Drehbewegung der Welle U_1 (Fig. 39 *a* u. *b*)

mittels Winkelräder auf die beiden lotrechten Drehwellen *d* überträgt und so mittels der Getriebe *D* (Fig. 40) die Brücke in Bewegung setzt; dieselbe kann auch im Notfall durch Tummelbäume und die Getriebe *H* (Fig. 40 *a* und *c*) von Hand erfolgen.

Endhebung. Die Dynamomaschinen drehen mittels der Welle U_4 (Fig. 39 *a* u. *c*) und Winkelräder die lotrechte Endhubwelle (Fig. 39 *c*), die zwischen den Hauptträgerwänden zum Drehtisch (Fig. 40) läuft und durch Winkelräder *L* und Gestänge die Kraft zur Pfeileraxe und von da durch weitere Winkelhebel auf die in Brückenlängsaxe befindliche, bis zu den Brückenenden reichende wagrechte Welle überträgt. Auch diese Bewegung kann mittels Tummelbaum durch das Getriebe *W* (Fig. 40 *a*) von Hand erfolgen.

b. Die Brücke über den Themse-Flufs in Neu-London (Conn.) der Providence- und Boston-Eisenbahn [Litt. 20].

Die gleicharmige Drehöffnung dieser zweigeleisigen Bahnbrücke erreicht bezüglich der Stützweite nahezu die eben beschriebene Brücke, der sie auch in der äufseren Erscheinung sehr ähnlich ist. Ihre Hauptabmessungen sind: Gesamtlänge 153,31 m; Höhen über dem Pfeiler 21,63 m und gegen das Ende 7,62 m; Hauptträgerentfernung 8,64 m; Fachteilung 7,01, mit Ausnahme des 6,10 m-Pfeilerfaches.

Tragkraftbestimmung. Das ganze Eigengewicht wird von dem Rollenkranz über dem Drehpfeiler aufgenommen; das Pfeilerfach ist als Scherkraft-Nullfeld mit ganz schwachen Gegenschrägen ausgebildet; ferner ist die Annahme gemacht, bei der Belastung durch Verkehrslast eines Armes treffe dieselbe halb auf das Ende desselben, halb auf den Pfeiler; bei Vollbelastung $^5/_8$ derselben auf den Pfeiler und je $^3/_{16}$ auf die Enden; die Querschnittsbestimmung erfolgte nach den Launhardt-Weyrauch'schen ähnlichen Formeln. — Verkehrslast: 2 Lokomotiven 171 t schwer und 31,40 m lang und aufserdem 4,46 t/m und Geleise.

Die Fundierung des bis zu 39 m unter Hochwasser zu gründenden Drehpfeilers erfolgte nach einer neuen Methode mittels Holzcaissons auf Pfahlrost[10]); von den 640 Pfählen, die sich auf 453 qm verteilen, hat jeder 8—10 t zu tragen; schliefslich wurde der zweite Caisson mittels künstlicher Belastung durch Gufs-Ingots mitsamt dem fertigen Mauerwerk fest auf die in genau gleicher Höhe abgesägten Pfähle getrieben. Der Überbau ist hauptsächlich aus Herdstahl, und nur die Druckglieder sind aus Bessemerstahl hergestellt. Die Drehtafel (die übliche *rim bearing turntable*) verteilt das ganze Gewicht auf 58 gufsstählerne Rollen (508 mm), die aus so hartem Material sind, wie es die Dreharbeit gerade noch zuläfst; auf eine Rolle treffen 22,4 t. Die Drehung selbst erfolgt durch Dampf, bezw. im Notfall durch Handbetrieb; die Dampfkessel und das ganze Triebwerk liegen unter den unteren Hauptträgergurtungen im Drehpfeiler. Die Brücke kann durchgedreht werden.

Abweichend von den üblichen Anordnungen ist die Endstütze und Hebevorrichtung der Brücke, deren Steuerung, wie auch die für die Drehung, von dem im ersten Stockwerk des Pfeilerfaches gelegenen Maschinistenhaus aus bethätigt wird. Aufser der wagrechten Verriegelung gegen Wind ist auch eine lotrechte angebracht, da bei der getroffenen Anordnung des Haupttragsystems beim Einfahren eines bezw. zweier Züge gleichzeitig an dem einen Brückenende, das andere gegen Abheben durch diese Verriegelung niedergehalten werden mufs.[11]) Die gröfste Abhebung würde 63 mm betragen. Der Anschlufs der Schienen an den Brückenenden ähnelt einer gespaltenen Weichenzunge.

Die kleinste Öffnungszeit beträgt (bei Windstille) $2^3/_4$ Minuten, wovon 15 Sekunden für Schienen- und Endschraubenhebung (Entriegelung), die übrige Zeit zum Drehen benötigt wird. Für die Sicherheit der Brücke sorgt eine Signalisierungseinrichtung.

Gewichtsangaben. Eiserner Überbau des Drehfeldes 808,7 t, davon 558,4 t Hauptträger, 197,2 t Brückenbahn, 50,6 t Verspannungen und 2,5 t Endauflager. Vollständige Bewegungsvorrichtungen 141,5 t.

Beachtenswerte Einzelheiten: Der Anschlufs der wagrechten Windverspannung der unteren Hauptträgergurtung erfolgt, abweichend von der üblichen Weise, symmetrisch zum Gelenkbolzen, um Nebenspannungen durch Verdrehen dieser Gurtungen zu vermeiden.

---

[10]) L. Brennecke, Ergänzungen zum Grundbau. Berlin 1895. S. 64, mit Abb.

[11]) A. B. Boller, The Thames river bridge; office of the Librarian of Congress at Washington, Taf. XI (ohne Jahreszahl).

c. Brücke über den Harlem-Flufs in der 3. Avenue, New-York [Litt. 57].

Fig. 41 u. 42. *Brücke über den Harlem-Flufs in der 3. Avenue, New-York.*

Fig. 41.

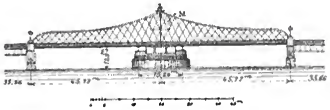
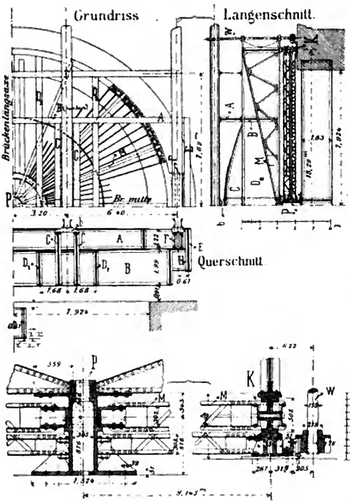


Fig. 42. *Anordnung über dem Drehpfeiler.*



Die Gesamtbreite der Brücke beträgt 26,21 m bei 91,44 m Länge. Zwischen den mittleren Hauptträgern verkehren 2 Dampfstrafsenbahnen, zwischen den inneren Aufsenträgern Trambahnen und auf 2 Fufswegen aufsen auf kragartig angehängten Trägern die Fufsgänger.

Die Fahrbahntafel ist asphaltiert, auf Buckelplatten, die Fufswege bestehen aus Fliesenpflaster. Für die Wahl der oberen Gurtungsform und das mehrfache Fachwerk waren Schönheitsrücksichten ausschlaggebend.

Die Maschinen und Kessel befinden sich im Maschinenhaus *M* (Fig. 41) über dem Pfeiler, von wo aus sowohl die Enden mittels Wasserdrucks gehoben und entriegelt, als auch die Brücke in $1^1/_2$ Minuten um 90° ausgedreht werden kann. Die Drehung selbst erfolgt in der üblichen Weise durch ein Getriebe, dessen lotrechte Welle *W* (Fig. 42) mittels Zahnrad in den auf dem Pfeiler fest verankerten Zahnkreis von 18,29 m Durchmesser greift.

Die Auflagerung der Brücke über dem Pfeiler ist aus Fig. 42 ersichtlich, die 96 Rollen (508 mm) haben das Gewicht der Brücke, 1700 t, in ausgedrehter Stellung zu tragen; in eingedrehter Stellung bilden die Hauptträger in der gewöhnlichen Art durchlaufende Träger.

Die Maschinen- und Kesselanlage ist doppelt; doch sind erstere so gekuppelt, dafs sie einzeln oder gleichzeitig arbeiten können; jeder Dampfkessel liefert 60 Pferdekräfte. Aufserdem dient noch eine Dynamomaschine im Maschinenhaus zur elektrischen Beleuchtung der Brücke. — Nähere Angaben über Gewichte und Kosten fehlen.

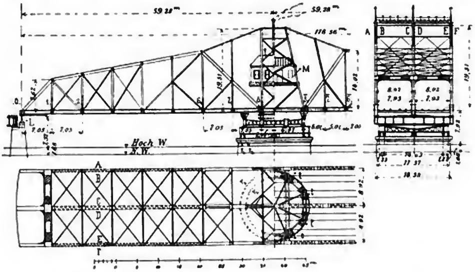
d. Viergeleisige Bahnbrücke über den Harlem-Flufs in New-York, 134. Strafse [Litt. 56].

Die gleicharmige Drehöffnung dieser Brücke ist 118,56 m lang und übersetzt den Flufs unter 45°; in der ausgedrehten Lage ist sie durch einen 149,7 m langen und 19,2 m breiten Holzpfeiler geschützt. Die Hauptanordnung des eisernen Überbaues ist aus Fig. 43 ersichtlich. Die nutzbare Lichtweite der beiderseitigen Durchfahrtsöffnungen beträgt (wegen der Schiefe) nur je 30,48 m. Der Drehpfeiler ist mit Luftdruck bis 25,9 m unter Hochwasser gegründet und besteht aus Steinmauerwerk und Beton.

Beachtenswert ist die verschiedene Anordnung des inneren und der äufseren Hauptträger über dem Pfeiler, die bezweckt, das Brückengewicht möglichst gleichmäfsig auf den aus zweimal 72 Rollen bestehenden Doppelrollenkranz (Fig. 44) zu verteilen.

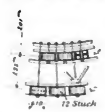
Das Maschinenhaus *M* (Fig. 43) ist architektonisch verziert, enthält zwei 50pferdige Dampfmaschinen, die aufser dem Drehen der Brücke auch das Endheben und Ausriegeln der Brücke bewerkstelligen; die ursprüngliche Absicht, durch Verkürzung bezw. Verlängerung des oberen Gurtungsstücks über dem Pfeiler das Heben und Senken der Brückenenden zu bewerkstelligen, wurde bei der Ausführung fallen gelassen.

Fig. 43. *Brücke über den Harlem-Flufs in New-York, 134. Strafse.*



Die Fahrbahntafel ist aus Winkeleisen 76 × 76 × 9,5 mm und Platten (lotrecht 419 × 9,5 mm; wagrecht 394 × 11 mm) trogförmig *L* (Fig. 43) zusammengebaut; es wurde durch diese derart gebildete vollständig geschlossene Decke eine sehr wirksame seitliche Absteifung der ganzen unteren Gurtung erreicht. Diese Tröge (aus Stahl) wurden jedoch nicht mit Erde oder Beton ausgefüllt, sondern die Schienen unmittelbar mittels auf die Tröge genieteter Stahlunterlagen (200 × 292 × 12,7 mm) auf die wagrechten Kopfplatten der Tröge befestigt, wobei zwischen Schienenfufs und Platte noch Kautschukplättchen liegen, um das Geräusch abzumildern und das Schienengeleise als isolierte Stromleitung benutzen zu können. Als Material wurde durchaus Herdstahl verwendet. Bei der Querschnittsbestimmung der Brücke wurde auf ein weiteres Anwachsen des Gewichtes der Betriebsmittel Bedacht genommen, wodurch sie sehr schwer geworden ist. Nähere Gewichtsangaben fehlen.

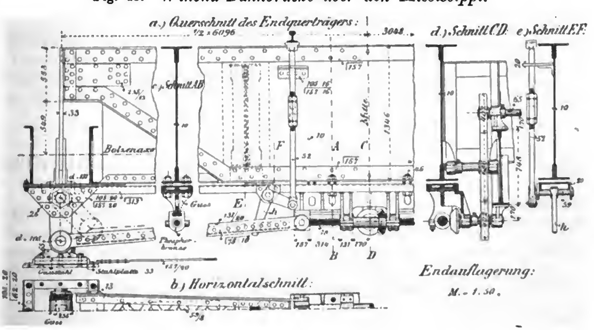
Fig. 44. *Einzelheiten des Rollenkranzes.*



e. Winona-Bahnbrücke über den Mississippi-Strom [Litt. 34].

Die gleicharmige Drehöffnung dieser 384 m langen eingeleisigen Brücke ist 134,11 m lang, 15,24 m über dem Drehpfeiler hoch $\left(\frac{15,24}{134,11} = \frac{1}{8,8}\right)$ und ganz aus weichem

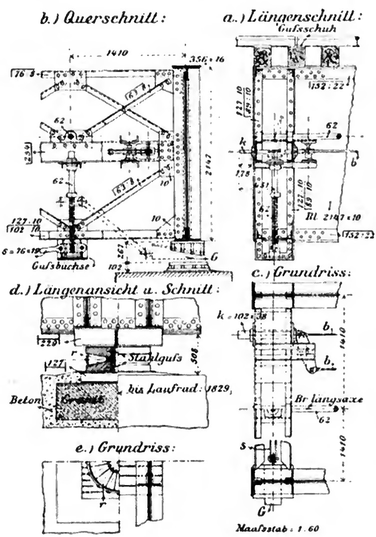
Fig. 45. *Winona-Bahnbrücke über den Mississippi.*



Stahl von 5060 kg/qcm gröfster und 4500 kg/qcm kleinster Bruchfestigkeit, bei 2600 kg/qcm Elasticitätsgrenze, 22% Drehung auf 203 mm und 44% Einschnürung ausgeführt worden.

Sie ruht auf einem auf Pfahlrost gegründeten Pfeiler und wird durch eine Dampfmaschine bewegt; auch die Endhebevorrichtung der Hauptträgerauflager und der Schienen an den Brückenenden, deren Anordnung (Fig. 45) für eine grofse Anzahl amerikanischer Brücken im wesentlichen ähnlich ausgeführt ist, erfolgt mittels Gestänge und Getriebe durch obige Dampfmaschine vom Pfeiler aus.

Fig. 46. *Eisenbahndrehbrücke bei Washington.*



f. Eisenbahndrehbrücke von 55,47 m Länge in der Nähe von Washington [Litt. 62].

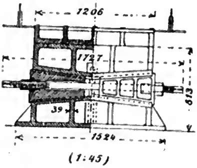
Dieselbe ist gleicharmig und ganz aus weichem Stahl, mit Ausnahme der aus mittelweichem Stahl gewalzten Winkeleisen.

Die Endauflagerung erfolgt durch die Keile G (Fig. 46 *b* u. *c*) die Auflagerung über dem Pfeiler (Fig. 46 *d* u. *e*) durch 16 konische Gufsstahlrollen und durch 4 Laufräder in 1,83 m Entfernung von der Drehaxe *(centre bearing turntable)*, und die Verriegelung durch den wagrechten Zapfen k (Fig. 46 *a* u. *c*). Sämtliche Vorrichtungen geschehen von Hand von Brückenmitte aus.

g. Die Riparia-Drehbrücke über den Snake-Flufs [Litt. 37].

Die 107,29 m lange gleicharmige, von Morison in Chicago gebaute Drehbrücke unterscheidet sich von der in Amerika üblichen Bauweise nur durch die Auflagerung über dem Drehpfeiler. Sie ruht in ausgeschwenkter Stellung auf einem Königsstuhl *(centre bearing table)* mit hydraulisch anhebbarem Druckkolben; die Führung und Sicherung gegen Wind erfolgt durch 8 Räder mit kräftigen Federn. Im eingedrehten Zustand jedoch ist der Königsstuhl drucklos und die Auflagerung über dem Drehpfeiler erfolgt durch die beiden Auflager (Fig. 47) unter den Enden des Hauptquerträgers, die dreiteilig sind, um sie genau in der Höhenlage einstellen zu können.

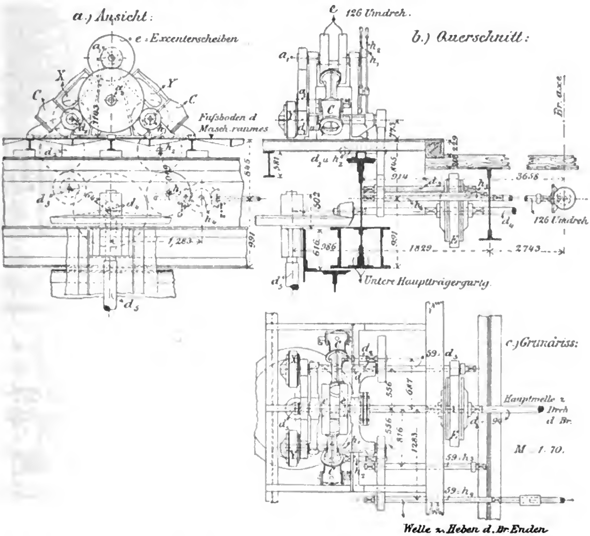
Fig. 47.
Riparia-Drehbrücke über den Snake-Flufs.



h. Zweigeleisige Alton-Eisenbahnbrücke (Illinois) [Litt. 61].

Die gleicharmige, 137,16 m lange Drehöffnung dieser sehr langen Brücke wiegt 963 t, ohne Drehmechanismus, Holzfahrbahn und Geleise. Die Drehung wird durch die in Fig. 48 dargestellte Zwei-Cylindermaschine auf einem Rollenkranz von 66 Stahlgufsrädern in der üblichen Weise bewirkt; desgleichen die Endhebung der Schienen. Das Getriebe zum

Fig. 48. *Alton-Eisenbahnbrücke (Illinois).*



Drehen ist mit d_1 bis d_4, das Getriebe zum Endheben mit h_1 bis h_4 bezeichnet; C sind die beiden Dampfcylinder, X und Y die Reibungsscheiben, die den Antrieb des Gestänges herbeiführen. Von den Hebeln h_1 und h_2 dient der eine zur Drehung, der andere zum Endheben der Auflager und Schienen, sowie zur Verriegelung der Brücke. Stehen diese Hebel auf mittlerer Stellung, so läuft die Maschine leer, da die Reibungsscheiben dann nicht eingreifen. Der Dampfkessel hat 3,16 qm Heizfläche; Gewichts- und Kostenangaben fehlen.

i. Eisenbahndrehbrücke in Texas mit Antrieb durch ein Pelton-Wasserrad [Litt. 65].

Diese eingeleisige Drehbrücke, deren symmetrischer Dreharm 75,28 m lang und deren Hauptträgerentfernung 5,18 m ist, befindet sich seit einiger Zeit in Betrieb und soll sich hierbei die Anlage des Pelton-Rades gut bewährt haben. Bei voller Geschwindigkeit entwickelt letzteres 8 Pferdekräfte und kann damit die Brücke in 21 Sekunden entriegelt und in 1 Minute und 50 Sekunden auf dem Rollenkranz gedreht werden. Die ganze Anordnung ist aus Fig. 49 näher ersichtlich; W bezeichnet das Wasserrad, L_1 den Hebel zum Drehen, L_2 den zum Endheben und Verriegeln. Das Rad macht 342 Umdrehungen in der Minute. Sämtliche Achslager sind, um alle Stofswirkungen zu mildern, auf Holzzwischenklötze gelagert.

k. Passaic-Drehbrücke der New-York-Lake Erie-Western-Eisenbahn [Litt. 67].

Neu an dieser gleicharmigen Drehbrücke ist die Ausgestaltung des Obergurtes der Hauptträger im Pfeilerfach, die das Abheben der Brückenenden bezweckt, und durch welche die statische Unbestimmtheit der Hauptträger auch in eingedrehter Brücke

Fig. 49. *Eisenbahndrehbrücke in Texas.*

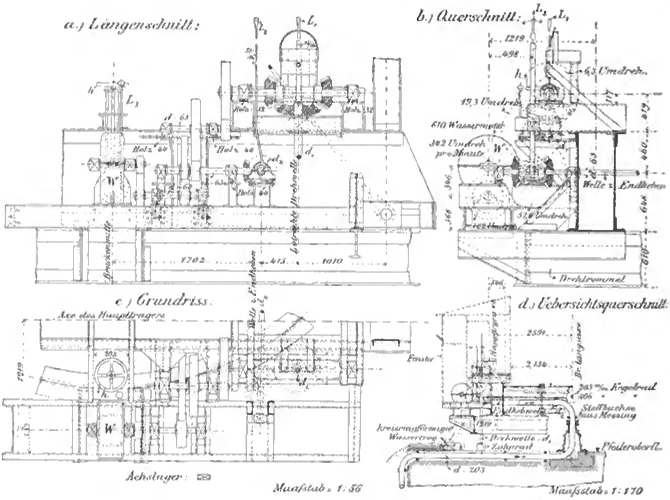
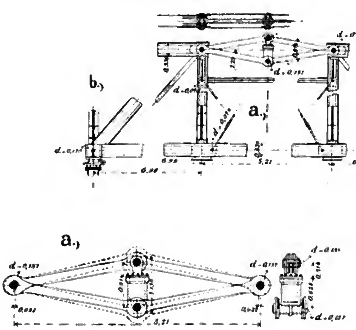


Fig. 50. *Passaic-Drehbrücke der New-York-Lake Erie-Western-Eisenbahn.*



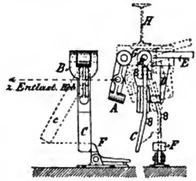
vermieden werden soll, indem der Obergurt über dem Drehpfeiler bei eingedrehter Brücke spannungslos wird. Die Wirkungsweise des in der oberen Gurtung eingesetzten, mittels hydraulischer Presse bewegten Kniehebels (Fig. 50) ist ohne weiteres klar. Soll nun die Brücke ausgedreht werden, so wird durch die hydraulische Presse die obere Gurtung verkürzt, die Keilauflager aus den Brückenenden gleichzeitig gezogen und die Brücke ist frei zum Drehen. Die Brücke hat seit 1½jährigem Betrieb (bis 1893 gerechnet) zufriedenstellend gearbeitet.

l. Ein selbstthätiger Drehbrückenverschlufs [Litt. 59] des amerikanischen Ingenieurs Fowler bezweckt, besondere Hebel zur Verriegelung oder Einklinkung der Brücken entbehrlich zu machen.

Von den drei auf dem gemeinsamen Lagerstück G, das mit dem Fahrbahnträger H fest verbunden ist, befindlichen Hebeln A, C und D ist A mit dem Triebwerk in Verbindung, während C frei nach allen Seiten pendeln kann und D die Feststellklinke E trägt. Wird A mittels des Hebelwerkes nach rechts gedrückt, so wird E gehoben und die Brücke zum Ausdrehen frei; dabei ist A in die Ebene des Anschlages F gekommen, wird aber bereits bei einer kleinen weiteren Drehung frei, da C auch um eine zu B senkrechte Drehaxe drehbar ist. C kann nun in die Anfangsstellung zurückfallen.

Fig. 51.

Fowler's selbstthätiger Drehbrückenverschlufs.

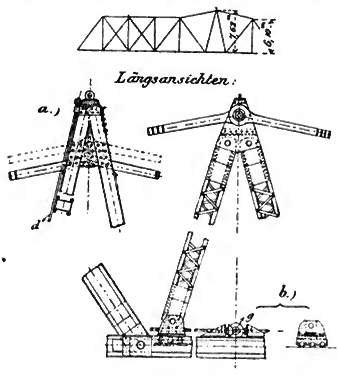


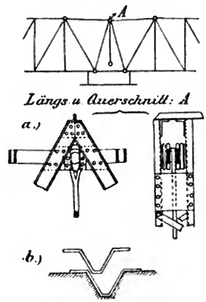
m. Entwurf zu einer Endhebevorrichtung für Drehbrücken [Litt. 53].

Die übliche Form der amerikanischen Fachwerk-Drehbrücken (unseres Wissens bis auf die später zu besprechende Doppel-Drehbrücke bei Columbus, S. 41, Fig. 55 ausschliefslich gleicharmig) zeigt in der Mitte ein Pfeilerfach, das entweder keine oder nur sehr kleine Scherkräfte aufnehmen kann. Durch die in Fig. 52 dargestellte Anordnung soll nun derselbe Zweck, wie bei der S. 38 beschriebenen Passaic-Drehbrücke erreicht werden, nämlich bei geschlossener Stellung entweder durch Senkung der Obergurtungen (Anordnung *a*) oder durch Verkürzung der Untergurtungen (Anordnung *b*) der ganze Träger in zwei statisch bestimmte Einzelträger zerlegt werden. Eingehende vergleichende Berechnungen ergaben eine Materialersparnis von 8% gegenüber einer ausgeführten Brücke des gewöhnlichen Typus bei 69,2 m Brückenlänge.

Fig. 52 u. 53.

Vorschläge, um die Hauptträger der geschlossenen Drehbrücke statisch bestimmt zu machen.

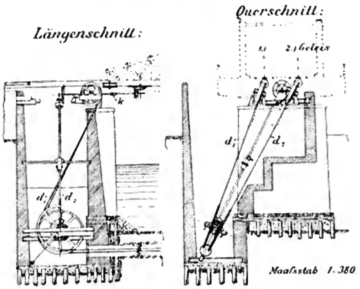




Eine andere vorgeschlagene Anordnung zu demselben Zwecke zeigt Fig. 53, bei der das Anheben der Brückenenden durch Hinabziehen des lotrechten Pfostens erfolgt; beim Eindrehen und Niederlassen der Brücke erfolgt die genaue Einstellung in die Ruhelage in sehr einfacher Weise durch die in Fig. 53*b* dargestellte Nase, die allerdings von Schmutz und Sand freigehalten werden mufs.

n. Führung einer elektrischen Strafsenbahn über eine Drehbrücke [Litt. 33].

Fig. 54. *Führung einer elektrischen Bahn über eine Drehbrücke.*



Aus Fig. 54 ist ersichtlich, in welcher Weise bei einer älteren gleicharmigen hölzernen (Howe'sche Träger) Drehbrücke die Leitungskabel unter der Brücke mittels Eisenrohren (914 mm) durchgeführt wurden, um bei ausgedrehter Brücke die Stromleitung für den übrigen Bahnverkehr nicht zu unterbrechen; bei eingedrehter Brücke tritt die unterirdische Stromleitung aufser Thätigkeit und erfolgt ein kürzerer Stromschlufs durch die Reibungskuppelung *(clutch)* *k* unterhalb der Brückenfahrbahntafel.

o. Doppel-Drehbrücke bei Columbus (Cleveland) [Litt. 71].

Bei dem Entwurf dieser Strafsendrehbrücke, die an Stelle einer alten Drehbrücke mit Mittelpfeiler errichtet wurde, lag die Bedingung vor, Mittelpfeiler und steile Zufahrtsrampen unbedingt zu vermeiden. Dies führte auf die in Fig. 55 *a* dargestellte Anordnung zweier ungleicharmiger Drehöffnungen von je 42,52 m Länge, bei 7,02 m Hauptträgerentfernung, wobei die Pfeiler noch ganz innerhalb der Docklinie liegen. Die beiden Öffnungen sind vollständig gleich und liegen in einem Gefälle 3:100, werden jedoch gleichwohl in wagrechter Ebene ausgedreht. Das Gleichgewicht ist durch Ballast an den Enden der kurzen Arme hergestellt.

Die Hauptträger sind für eine Verkehrslast von 490 kg/qm auf den Fahrweg und 392 kg/qm auf die Fufswege oder 4,46 t/m Brücke berechnet. Der ganze Überbau ist aus weichem oder mittelweichem Stahl hergestellt. Für die Gurtungen wurde Trogquerschnitt gewählt, für die Zugschrägen Augenstäbe angeordnet. Das ganze Stahlwerk wurde geölt und vor der Aufstellung zweimal mit Mennige gestrichen.

Jede Öffnung ruht auf einem Rollenkranz und wird durch das übliche Zahnkranzgetriebe mittels je eines 25pferdigen Elektromotors *(Westinghouse waterproof multipolar)*, der in der Drehtrommel untergebracht, gedreht. Aufserdem ist daselbst noch eine 5pferdige Hilfsmaschine aufgestellt für den Betrieb eines Luftkompressors, der in dem Maschinenhaus über dem Pfeilerfach untergebracht ist. Der elektrische Strom wird durch 2 unterirdische Kabel in gebaggerten Gräben der Brücke zugeführt, in denen auch noch ein Notkabel und Bleirohre für Prefsluft eingelagert sind. Die durch die 5pferdige Maschine in 2 Behälter von 0,71 cbm Fassungsraum gedrückte Luft dient zur Bedienung der Entriegelungsvorrichtungen und der Sicherheitsthore beim Anschlufs der Brücke an die Zufahrtsstrafsen.

Mit Rücksicht auf das starke Auseinandergehen der Brückenenden (Fig. 56 *b*) wird der Zwischenraum mittels einer 1,63 m breiten, über die ganze Brückenbreite reichenden Schürze (*apron*, Fig. 55 *a*) im Brückenmittel überdeckt; dieselbe mufs mittels eines Bewegungsmechanismus, der gleichzeitig die Brücke daselbst entriegelt, vor dem Ausdrehen gehoben werden.

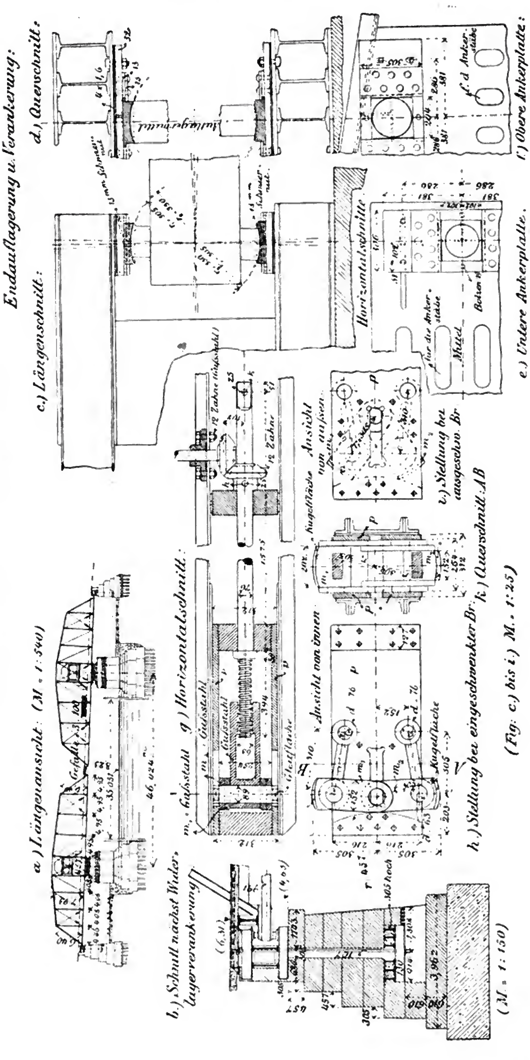
Alle Bewegungen können im Notfall mittels Handbetriebes ausgeführt werden.

Der Unterbau besteht aus gemauerten Pfeilern und Widerlagern auf Pfahlrosten, deren Pfähle in 0,76 bis 0,92 m Entfernung ungefähr 8,24 m tief eingetrieben sind.

Bemerkenswert ist die Verankerung und Verriegelung der kurzen Arme in eingedrehter Stellung (Fig. 55). Die Feststellung geschieht durch Kniehebel mit kugelförmigen Endflächen (Fig. 55 *b* bis *k*) von 305 mm Halbmesser, die in kugelförmige Höhlungen von 330 mm Halbmesser eingreifen und durch das Getriebe vom Maschinenhaus aus in Bewegung gesetzt werden. Die Verankerung dieser stützenden, und

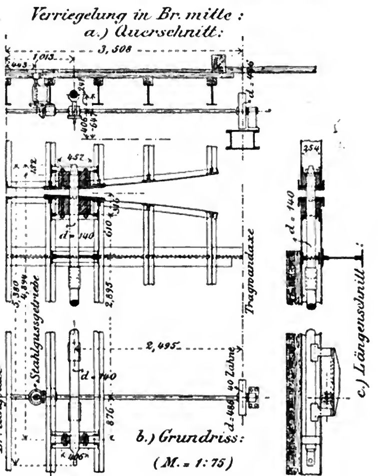
Fig. 55.

Doppel-Drehbrücke bei Columbus (Cleveland).



zugleich verriegelnden Kugellager ist aus Fig. 55 *b* bis *f* ohne weiteres ersichtlich; die getroffene Anordnung gestattet den Endstützen eine wagrechte Verschiebung (in Längsnuten) in Richtung der Brückenlängsaxe. Die Gewichte und Kosten stellen sich wie folgt: Eiserner Überbau 427,5 **t**; eiserner Überbau 193 200 M.; Unterbau 113 400 M.; elektrische und Druckluftmaschinen 21 000 M.; Wärterhäuser 2500 M.; Kabel 2100 M.; Grunderwerb 61 690 M.; Pflasterung und Zufahrten 8400 M. und Kanäle 2920 M. Seit mehreren Wochen in Betrieb (bis August 1895 gerechnet) hat die ganze Anlage zufriedenstellend gearbeitet.

Fig. 56. *Doppel-Drehbrücke bei Columbus (Cleveland).*



Wie sich die Verriegelung in Brückenmitte nach mehrjährigem Betrieb bewährt, mufs erst die Erfahrung lehren; durch die vorsorglich grofs gewählte Höhe der Hauptträger $\left(\frac{7,93}{42,52} = \frac{1}{5,36}\right)$ sind allerdings die elastischen Bewegungen auf ein geringes Mafs gebracht.

p. Preisbewerbung für eine bewegliche Brücke über den Duluth - Schiffkanal (Minn.) [Litt. 44].

Auf das Preis-Ausschreiben (M. 4200) der Stadt Duluth (1891) zur Erlangung einer beweglichen Brücke liefen 20 Entwürfe ein, von denen mehrere sehr beachtenswerte Lösungen der ziemlich schwierigen Aufgabe enthielten; es sollte nämlich über den stark befahrenen (35 Schiffe im Tag) Schiffahrtskanal (76,2 m breit) ohne Einbau in denselben eine Trambahn, 2 Geleise für elektrische Bahnen, 2 Fahrwege und 2 Fufswege geführt werden und mufste auch noch auf den hohen Grund- und Bodenwert zu beiden Seiten des Kanales Bedacht genommen werden.

Die hauptsächlichsten Entwürfe giebt Fig. 57, deren erste 4 Abbildungen Drehbrücken zeigen.

α) Entwurf Jennings. Eine Doppel-Drehbrücke aus 2 ungleicharmigen gewöhnlicher Art gebildet. Kosten 714 000 M.

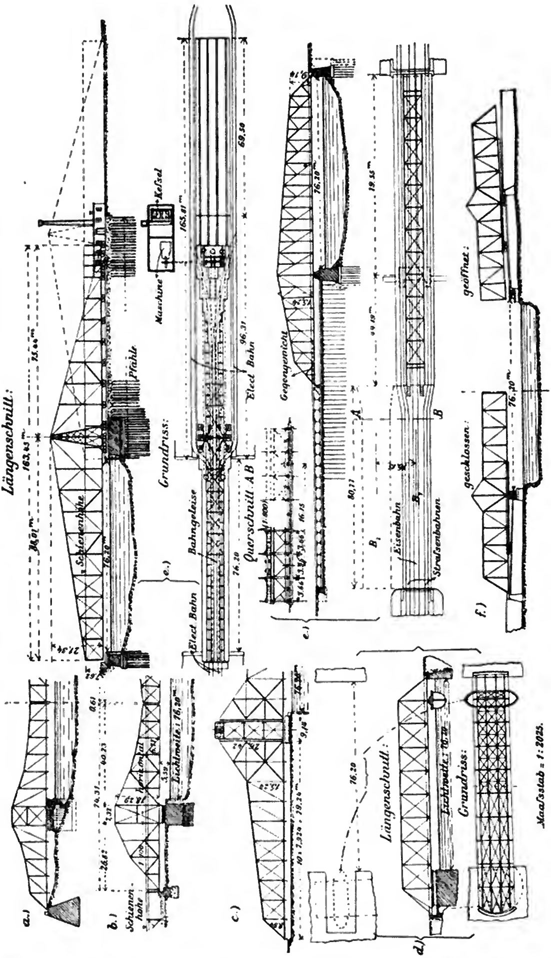
β) Entwurf Math and Sons. Der 7,32 m breite Fahrweg und die 2,13 m breiten Fufswege liegen auf der unteren Fahrbahntafel, die Trambahn auf der oberen, um Strafsen- und Trambahnverkehr möglichst zu trennen. Die kurzen Arme sind mit Gegengewichten belastet und werden in eingedrehter Stellung noch künstlich niedergehalten, die langen Arme sind in derselben Stellung durch Riegel verbunden. Jede der beiden Drehöffnungen, auf dem Rollenkranz ruhend, ist mit Prefswasser-Maschinen zum Drehen und Verriegeln ausgestattet und kann von einem Mann in einer Minute ausgedreht werden. Kosten (ausschliefslich der Zufahrten) 798 000 M.

γ) Der Entwurf Mc. Nicol bildet eine gleicharmige Drehbrücke aus 2 gleichen unabhängigen Kragarmen, die allein durch den Pfeilerturm an den Ober- und Untergurten wagrecht verbunden sind. Das Endheben der Brücke erfolgt durch eine Maschinerie vom Kopf des Turmes aus, der kräftig genug ist, alle Ungleichheiten der Belastung der beiden Arme auszugleichen. Die Maschinerie befindet sich im Turm. Das ganze Tragwerk ist jederzeit statisch bestimmt. Drehzeit 5 Minuten; Kosten 525 000 M. ohne Unterbau.

δ) Der Entwurf La Rue und Grovenoor zeigt die Verbindung des Dreh- mit dem Schwimmbrückensystem. Das Schiff bildet die treibende Kraft, ist hierzu mit Dampfmaschinen und Pumpen zum Heben und Senken des freien Brückenendes ausgerüstet und kommt bei ausgedrehter Brücke in die Ufer-

Fig. 57.

Entwürfe für eine bewegliche Brücke über den Duluth-Schiffkanal (Minn.)



nische. Der Propeller ist mit einer nicht näher mitgeteilten Vorrichtung ausgestattet, welche ihm auch bei Wellengang die lotrechte Stellung sichern soll. Die Zeit zum Öffnen ist auf $2^1/_2$ Minuten, die Kosten sind auf 453 600 M. angegeben. Die übrigen Entwürfe sollen bei den Rollbrücken besprochen werden.

4. In anderen Ländern.

a. Die Pollet-Drehbrücke in Dieppe (Frankreich) [Litt. 35].

Diese ungleicharmige, 70,5 m lange Strafsenbrücke dient zur Verbindung zweier Stadtteile über den Kanal und zeigt bezüglich der Gesamtanordnung viel Ähnlichkeit mit der Drehbrücke am Bassin nationale in Marseille.[12]) Ihre Hauptabmessungen sind aus Fig. 58 *a*, *b* u. *c* zu entnehmen. Die geringe Höhe der Hauptträger, 7,11 m über dem Drehpfeiler, 5,97 m und 2,75 m an den Enden $\left(\frac{7,11}{70,5} = \frac{1}{9,9}\right)$ wurde mit Hinblick auf die in nächster Nähe der Kanalufer befindlichen Häuser gewählt. Aus Rücksicht auf diese, und um die Brücke gegen Hochwasser zu sichern, war man genötigt, die Fahrbahntafel nur 0,70 m dick auszubilden, wodurch das Brückengewicht unerfreulich vergröfsert wurde.

Der Fahrweg ist in 2 Geleise geteilt und mit eisernen Führungsleisten für Fuhrwerke versehen (Fig. 58 *c*), eine in Frankreich öfters gewählte Anordnung. Die unteren Gurtungen sind durch Windverspannungen verbunden, die oberen Gurtungen nur, soweit es die freie Lichthöhe für die Staatsstrafsen von 4,30 m gestattet.

Der kurze Arm ist mit 243,5 t künstlich mit Gufsblöcken belastet; dies genügt auch noch, um bei lotrecht wirkendem Wind von 50 kg/qm demselben das Übergewicht (ungefähr 20 t) zu sichern.

Der kastenförmige, 3 wandige Hauptquerträger (Fig. 58 *c* u. *f*) hat das Gewicht der ungefähr 500 t schweren Fahrbahntafel, sowie der Hauptträger und der an der Fahrbahntafel befestigten Teile des Mechanismus, insgesamt beiläufig 810 t, auf den mit Prefswasser-Hubpresse versehenen Königsstuhl *(central pivot)* *A* zu übertragen.

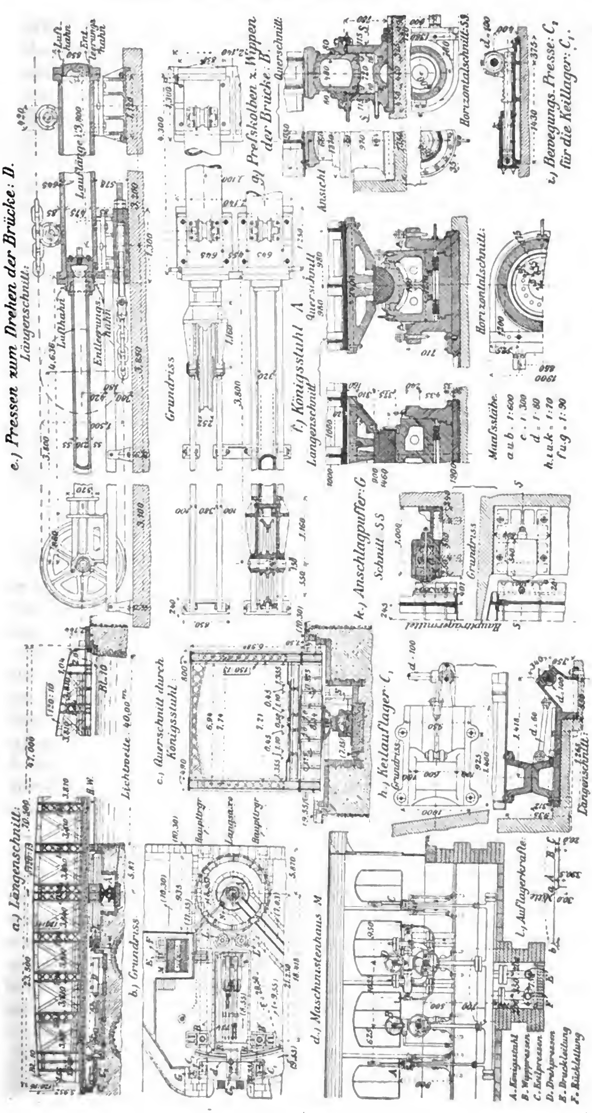
Als Betriebskraft konnte allein Wasser in Betracht kommen, da für Bedienung der anliegenden Schleusenthore ohnedies eine grofse Prefswasser-Maschinenanlage hergestellt werden mufste.

Von den drei in Betracht zu ziehenden Systemen: 1. Heben der ganzen Brücke, 2. Senken und Heben der Endstützen und 3. Wippen der Brücke und dann Drehen wurde mit Rücksicht auf das grofse Gewicht das letztere als das zweckmäfsigste gewählt; hierbei sind die Auflager des langen Armes fest, die des kurzen lotrecht beweglich (Fig. 58 *g*); die Brücke selbst sitzt auf einem Prefswasser-Kolben (Fig. 58 *f*), der am Kopf einen gufsstählernen, halbcylindrischen Querzapfen trägt, um den die Brücke in lotrechter Ebene gewippt werden kann. Das feste Auflager *C* des kurzen Armes bei eingedrehter Brücke ist aus Fig. 58 *h* zu ersehen und besteht aus einem in der Brückenlängsaxe zwischen 2 Gufsplatten beweglichen Keil. Der Durchmesser des Prefswasser-Kolbens des Königsstuhles ist so bemessen, dafs derselbe mit auf 50 Atm. gespanntem Druckwasser allein die Brücke noch nicht tragen kann; dazu sind noch die Kolben der beiden Druckwasser-Pressen *B*, der sogenannten Schaukelpressen (Fig. 58 *a*, *b* u. *g*) erforderlich. Soll die Brücke ausgedreht werden, so werden die Kolben *A* und *B* um nur einige Millimeter gehoben, die Keile *C* gleichzeitig gezogen und das Auslafsventil des Kolbens *B* geöffnet; der Centralkolben *A*, unfähig, das ganze Gewicht zu tragen, sinkt auf seine tiefste Stelle und gleichzeitig wippt die ganze Brücke um den Querzapfen des Centralkolben *A*, da das Druckwasser unter dem Wippkolben *B* entweichen kann, infolge des Ballastes des kurzen Armes nach hinten. Die Brücke kann nun mittels der

[12]) Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. 2. Aufl., Taf. III, Fig. 15[a].

Fig. 58.

Pollet-Drehbrücke in Dieppe (Frankreich).



Pressen *D* (Fig. 58 *a*, *b* u. *e*), durch Ketten, die über die Rollen *L* (Fig. 58 *a* u. *b*) und um den mit der Brücke fest verbundenen Gufskranz laufen, ausgedreht werden. Die lotrechte Bewegung des Kolbens *A* ist nur 15 mm, sodafs selbst beim Bruch des Königsstuhles kein gröfserer Unfall herbeigeführt und die Centralpresse leicht ausgewechselt werden kann. Von den Drehkolben *D* ist immer nur der eine unter Druckwasser, beim anderen ist gleichzeitig das Ablafsventil geöffnet. Der Lauf der ausgedrehten Brücke findet durch die Anschlagpuffer *G* (Fig. 58 *k* u. *b*, wobei in Fig. *b* nur der für die einschwenkende Brücke dienende Puffer zu sehen ist) seine Begrenzung.

Durch Einlassen von Druckwasser gleichzeitig an beiden oder nur an einem Ende des Drehcylinders *D* kann man sehr verschieden grofse Kräfte auf den Drehkolben ausüben und ist man durch einseitigen, auf den vollen Kolbenquerschnitt wirkenden Prefswasser-Druck befähigt, die Brücke auch gegen sehr starken Wind zu drehen.

Beim Versagen der hydraulischen Centralmaschine im Hafen kann die Brücke durch eine aufgestellte Hilfspumpe nebst Kraftsammler im Dienst erhalten werden. Zu einem einmaligen hydraulischen Öffnen und Schliefsen sind 2 bis 3 Minuten, im Notfall mit geübten Maschinisten nur 1½ Minute erforderlich.

Die zulässige Beanspruchung des eisernen Überbaues war auf die bis zum August 1891 in Frankreich für Brücken allgemein übliche Grenze von 600 kg/qcm festgesetzt, erreichte jedoch rechnungsgemäfs bei der Fahrbahntafel nur 568, bei den Hauptträgern 583 kg/qcm.

Gewichte und Kosten. Walzeisen 422,8 t und 121 600 M.; Schmiedearbeit 6 t und 2680 M.; Stahlplatten 17,1 t und 8220 M.; Gufs (Ballast) 233,4 t und 26 850 M.; Eichenholz 20 cbm und 2950 M.; Holz verschiedener Gattung 633,3 qm und 4730 M.; Hauptquerträger 40,3 t und 14 360 M.; zusammen 181 390 M. Ferner Mauerwerk 72 900 M.; der vollständige Mechanismus 155 200 M. und die allgemeinen Kosten 20 100 M., giebt als Gesamtsumme 429 590 M. (100 Frs. = 81 M.).

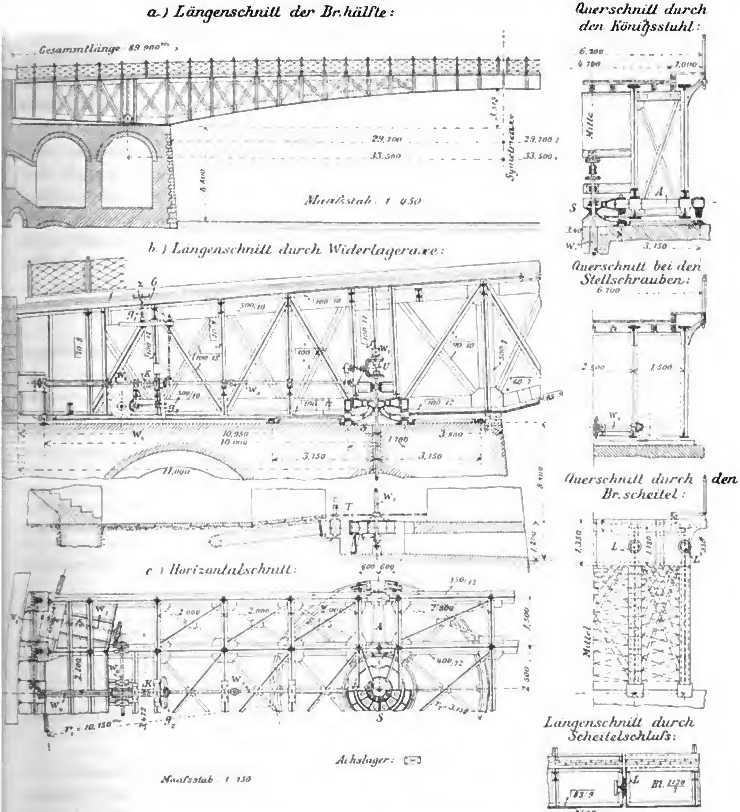
b. Drehbrücke über den Hafen in Tarent (Italien) [Litt. 5].

Diese 89,90 m lange Strafsendrehbrücke, deren Gesamtanordnung und Hauptabmessungen aus der Fig. 59 ersichtlich ist, hat ihr Vorbild in der wesentlich längeren Penfeld-Brücke im Hafen von Brest[13]) und besteht aus 2 fachwerkartig ausgebildeten Kragarmen mit gekrümmten Gurtungen (Halbmesser 989, bezw. 160 m); jeder der beiden Kragarme dreht sich unabhängig vom andern um einen Dorn *S*, dessen lotrechte Axe 3,8 m hinter Uferwand liegt. Das Hauptgewicht der Brücke wird dabei durch diesen Dorn und die von den beiden Stahlaxen *A* (Fig. 59 *a* u. *c*) getragenen Räderpaar aufgenommen, wobei letztere auf einem gufseisernen Laufkranz von 6,3 m Durchmesser laufen. Ein Kranz kleiner cylindrischer Rollen mit lotrechter Axe am Kopfe des Dornes, sich an letzteren stützend, gewährleistet die centrale Lage der sich drehenden Brücke, deren Sicherung gegen Windkräfte durch die kegelförmigen Gufseisenansätze *L* (siehe Fig. 59 rechts unten) im Brückenscheitel geschieht.

Der kleinere, durch Ballast niedergehaltene Arm ruht auf 4 Stellschrauben (in Fig. 59 *c* im Schnitt sichtbar), die beim Senken den Scheitel um 827 mm lotrecht heben, worauf die Brücke wagrecht ausgedreht werden kann. Diese beiden verschiedenen Bewegungen werden durch je eine kleine, centrisch unter Drehzapfen der beiden Brückenhälften befindliche Turbine *T* (Fig. 59 *b*) ausgeführt, wobei das Druckwasser der neuen, beim Brückenbau noch unfertigen städtischen Wasserleitung zu entnehmen ist. Es mufsten daher Behälter von 600 cbm Fassungsraum mit 22 m mittlerer Druckhöhe für einen zeitweiligen Betrieb aufgestellt werden. Die Turbinen entwickeln bei 950 mm

[13]) Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. 2. Aufl., Taf. III, Fig. 2.

Fig. 59. *Drehbrücke über den Hafen zu Tarent (Italien).*



Durchmesser und 240 Umdrehungen in der Minute 14 Pferdekräfte und erfordern für einmaliges Öffnen und Schliefsen 150 cbm Wasser. Die Hauptwelle W_1 (Fig. 59 *b*) durchdringt centrisch den Dorn und überträgt mittels Zahnradgetriebe und Wellen die drehende Bewegung nach rückwärts derart, dafs die Wellen W_7 (Fig. 59 *c*), welche die Triebräder für die Drehung der Brücke tragen, nur mehr $2^1/_2$ Umdrehungen in der Minute ausführen. Weil nun das ganze wagrechte Gestänge die kleine Kippbewegung der Brücke mitmachen mufs, ist das Universalgelenk *U* (Fig. 59 *b*) nötig, um eine bewegliche Verbindung der Turbinenwelle W_1 mit dem Gestänge herzustellen. Auf der

Welle W_2 sitzen 2 ganz gleiche Kegelräder, durch deren Heben oder Senken die Verbindung der Welle W_2 mit dem Wellensystem W_3 bis W_7 hergestellt, und damit zugleich die Brücke nach der einen oder anderen Richtung in Drehung versetzt wird. Da überdies die Welle W_3 mit W_4 durch eine lösbare Kuppelung K (Fig. 59 *b* u. *c*) verbunden ist, kann nach Erfordernis die drehende Bewegung von W_1 durch W_4 auf W_8 übertragen werden, wodurch die bereits erwähnten 4 lotrechten Stellschrauben von 125 mm Durchmesser in 2 Minuten um 246 mm gehoben bezw. gesenkt werden; hierzu reicht eine Leistung von 7 Pferdekräften aus.

Die ganze Bewegung kann aber auch von Hand geschehen, zu welchem Zweck im rückwärtigen Teil der Fahrbahntafel bei Z (Fig. 59 *b*) eine Trommel eingesetzt wird, um das lotrecht stehende Getriebe G anzutreiben, durch das die drehende Bewegung des letzteren auf die wagrechte Hauptwelle W_3 übertragen, und von hier aus in der bereits beschriebenen Art nach der Welle W_7 oder aber nach W_8 übergeleitet werden kann. In dieser Weise können mittels durch die Trommel gesteckter Hebel 24 Mann die Kippbewegung in $12^1/_2$ Minuten, die Drehbewegung um 90° in $8^1/_2$ Minuten ausführen, während mittels der Turbinen dieselbe Leistung in $(2 + 1^1/_3 =) 3^1/_3$ Minuten bethätigt werden kann.

Bei Druckwasserbetrieb erfordert die vollständige Doppelbewegung 170 cbm Wasser.

Das Eigengewicht der 4 Hauptträger einschliefslich der Fahrbahntafel beträgt 4 t/m; die veränderliche Last 450 kg/qm. Das Gegengewicht wurde bei 30,1 m Länge des langen und 13,5 m des kurzen Armes zu 208,6 t berechnet und mit 266 t ausgeführt. Bei ausgedrehter Brücke kommen von dem Gesamtgewicht von 536 t auf die hinteren Triebräder 70,8 t, auf die zum Dorn konzentrischen Rollen und Radkränze 465,8 t. Bei eingedrehter Brücke verteilt sich das Gewicht auf die Stellschrauben (492,6 t) und die zahnförmigen Auflager am Widerlagerrand (Fig. 59 *b*) (81,2 t). Das Tragsystem ist, da die kegelförmigen Zapfen L im Scheitel keinerlei Kraft übertragen sollen, bezüglich der äufseren Kräfte statisch bestimmt, bezüglich der inneren Stabspannungskräfte der vollständig steif ausgeführten Doppelschrägen halber vielfach statisch unbestimmt. Befremdend ist die Verwendung der überaus schwachen Eisenstärken, z. B. der Anschlufs der kräftigen Schrägen an das nur 10 mm dicke Gurtungsstahlflacheisen, ohne Verstärkung desselben wenigstens nächst den Knotenpunkten, wodurch sehr bedeutende örtliche Überspannungen an diesen Anschlufspunkten auftreten müssen.

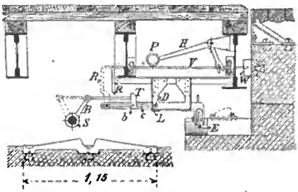
Gewichts- und Kostenangaben. Eiserner Überbau 342,20 t; Mechanismus mit der Brücke beweglich 50,14 t; feststehender Mechanismus 54,63 t; zusammen 446,97 t, einschliefslich des Gegengewichtes aus Gufseisen und Abfällen. Überbau 324 000 M.; Motor und Bewegungsmechanismus 36 450 M.; Wasserkraft mit Zuleitung 23 490 M.

c. Selbstthätige Riegelvorrichtung einer Drehbrücke über die untere Schelde bei Gent (Belgien) [Litt. 68].

An dieser, zum Durchdrehen eingerichteten Brücke mit 2 Lichtöffnungen von je 12,5 m Weite fehlen Pufferanordnungen, an deren Stelle die Brücke beim Eindrehen durch einen selbstthätig vorschnellenden Riegel zum Stillstand gebracht wird. Die Verriegelung wird beim Senken der Brücke selbstthätig gelöst und tritt wieder in Thätigkeit, sobald das Brückenende an einem der Landpfeiler anlangt. Auf der Welle S (Fig. 60), die zugleich Achse der Anhub- und Stützvorrichtung für die Endlager ist, sitzt der Winkelhebel B, den die mit der Nase T versehene Lenkstange bei Drehung der Welle mitnimmt. Die Nase T wird in der Nut des zweiarmigen Hebels C, der um die Axe D, welche mit dem eisernen Überbau fest verbunden ist, lotrecht drehbar ist, geführt. Das rechte Hebelende trägt das Laufrad E (in der Zeichnung für die geschlossene Brückenstellung dargestellt). Wird die Brücke gesenkt, wobei die Welle S sich nach

links dreht, so fafst die Nase T den Riegel R und bringt ihn in die Stellung R_1 (punktiert); dadurch wird der Riegel V aus der eingekerbten, im Widerlager befestigten Gufsplatte W gezogen und die Brücke zum Ausdrehen frei. Da durch das Zurückziehen des Riegels V das Gegengewicht P des Hebels H, das den Riegel V in die Stellung R zurückdrückt, gehoben wird, so löst beim Eindrehen der Brücke der Winkelhebel C beim Ansteigen des Rädchens E über die Keilfläche des Widerlagers die Nase T den Winkelhebel B aus der Stellung R_1 aus, der Riegel V wird durch P gegen das Brückenende geschoben und die Brücke derart wieder verriegelt.

Fig. 60. *Drehbrücke über die untere Schelde bei Gent. Selbstthätige Riegelvorrichtung.*



Schnitt durch W.

Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellennachweis).

Drehbrücken betreffend.

Die mit einem * versehenen Gegenstände fanden bereits nähere Besprechung.

1. Pont tournant d'Arenc de Marseille. Génie civil 1886/87, Bd. 10, S. 87 und G. Lebris, Les constructions métalliques, S. 248. — Eine von M. Barret im Hafen von Marseille ausgeführte ungleicharmige Strafsenbrücke, 8,8 m breit und 95,20 m lang (= 59,00 + 36,20 m) für eine lichte Durchfahrtsweite von 50 m.

2. Strafsendrehbrücke über den Mund des Zoll- und Binnenhafens von Mainz, 1887. Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. 2. Aufl. S. 128, No. 16* und S. 133. Sie war zur Zeit ihrer Erbauung (1885/86) eine der gröfsten Drehbrücken in Deutschland. — Gleicharmig, 59,90 m lang, auf einem 10 m dicken, kreisrunden Drehpfeiler lagernd, ist sie zum Durchdrehen eingerichtet. Trägerhöhe in Mitte 6,5 m, über den Widerlagern 2,14 m. Die Fahrbahn liegt unten, ist 9 m (= 5,5 m Fahrweg und 2 × 1,75 m Fufswege) breit und mit Holzpflaster abgedeckt. Hauptträgerentfernung 9,3 m. Der Bewegungsmechanismus besteht aus dem Königsstuhl und 4 etwas federnden Führungsrädern in 4,12 m Entfernung von ersterem. Für das Heben und Senken, Ent- und Verriegeln der Brückenenden ist eine Vorrichtung angebracht, die nur eine Handhabung des die Brücke bedienenden Arbeiters erfordert. Das Heben und Senken erfolgt durch ein Kniehebelwerk, das ähnlich wie bei der Ludwigshafener Drehbrücke (siehe S. 20, Fig. 22) zwischen den doppelwandigen Endquerträgern angebracht ist und durch einen gemeinsamen Schraubenantrieb, der gleichzeitig die Brücke ent- und verriegelt, von Brückenmitte aus in Bewegung gesetzt wird. Beim Einschwenken der Brücke kommt eine Pufferung mit selbstthätiger Riegelung zur Wirksamkeit. Belastung 400 kg/qm und ein 18 t-Wagen mit 3 m Achsstand; zulässige Beanspruchung 700 kg/qcm. Eisengewichte: Hauptträger 76 t, Verspannungen 5,2 t, Fahrbahn 88,4 t, Fufswege 12,8 t, zusammen 182,4 t; hierzu die Drehvorrichtung 49,4 t und das Geländer 4,2 t. Kosten: Eisenkonstruktion 71 700 M., Holzpflaster 8500 M., Anstrich 900 M. und eine von der Festung verlangte Sperrvorrichtung 500 M., zusammen 81 500 M. Beachtenswert an der Hauptträgerdurchbildung ist der mittels Gelenkbolzen erfolgte Anschlufs des einfachen, symmetrischen Ausfüllungssystemes an die durchlaufenden Gurtungen, in der Absicht, die Nebenspannungen etwas herabzumindern. Entworfen und ausgeführt wurde die ganze Eisenkonstruktion von der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg (A. Rieppel).

3. Le nouveau pont tournant de la baie de Newark. Génie civil 1887, Bd. 11, S. 201, mit Abb. In einer 3 km langen Eisenbahnbrücke wird die Drehbrücke durch eine neue ersetzt und der Verkehr durch eine kleine 29 m Drehbrücke zeitweilig aufrecht erhalten. Nähere Mitteilungen hierüber.

4. Pont tournant de l'Abattoir. Port de Marseille. Portefeuille écon. des machines, Oppermann, 1887, S. 177, Taf. 47, 48 u. 49. Gleicharmige Strafsendrehbrücke, 73,80 m lang, je 30 m Lichtweite. Gekrümmter Obergurt: Höhen 4,35 und 2,60 m. Netzwerk aus Flacheisen, mit lotrechten Winkeln abgesteift. Fahrbahn 8 m breit, Hauptträgerentfernung 8,3 m. Die Druckwasser-Anhebevorrichtung stützt sich auf die Anwendung des Barret'schen Recuperateurs[14]), dessen Einzelheiten gegeben sind. Preis- und Gewichtsangaben fehlen. Diese Brücke war eines der letzten Werke des 1887 verstorbenen verdienstvollen französischen Ingenieurs Barret.

5. *Drehbrücke im Hafen von Tarent. Hierüber: G. Crugnola, Dei ponti girevoli, Turin 1888. 205 S. und 5 Taf. Enthält ausführliche Zeichnungen, auch Mitteilungen über die statischen Berechnungen obiger Brücke.

   M. A. Cottrau, Le grand pont tournant de l'Arsenal de Tarent. Nouv. annales de la constr. 1888, S. 1 u. Taf. I u. II.

   Weyrich, Die Drehbrücken neuester Konstruktion. Glaser's Annalen 1890, Bd. 27, S. 42, Taf. III, Fig. 1—5.

   Drehbrücke in Tarent. Schweiz. Bauz. 1890, Bd. 15, S. 62, mit Doppeltafeln.

6. Drehbrücke über den St. Louis-Strom bei Duluth. Deutsche Bauz. 1888, S. 135, Abb. S. 137. Gleicharmige, eingeleisige, 91,44 m lange Drehbrücke, 7,92 m Pfeilerdurchmesser, gekrümmter Obergurt 9,14 und 7,92 m hoch, Hauptträgerentfernung 4,8 m, Rollenkranz; Drehen und Endheben der Stützen von Hand vom Pfeiler aus. Gewicht der Eisenkonstruktion 195 t.

7. Eine selbstthätige Drehbrücke. Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 518, mit Abb. Für kleine Kanalbrücken in dünn bevölkerten Gegenden (ohne Brückenwärter) in Amerika mehrfach ausgeführt. Die gleicharmige, 17,7 m lange, 4,57 m breite Brücke ruht auf einem Rollenkranz und läfst beiderseits 6,4 m lichte Durchfahrt frei; sie wird durch das einfahrende Schiff ausgedreht und gelangt nach dessen Durchfahrt infolge der Wechselwirkung zweier entgegengesetzt angespannter Federn wieder in die Ausgangsstellung zurück. 6 Abbildungen geben ein anschauliches Bild der Gesamtanordnung.

8. Tientsin swing bridge, China Railways. Engineer 1888 I, S. 89 u. 154, mit Abb. Zweigeleisige, gleicharmige Bahndrehbrücke, 46,72 m lang, Parallelträger, Höhe 3,67 m. Der Rollenkranz läuft oben und unten auf *malava*-Holz, das so hart wie Eisen; Verriegelung und Endauflagerung mit Keilen; die Eisenkonstruktion wurde in 68 Tagen ausgeführt. Gewichtsangaben fehlen.

9. Howe truss timber across the Williamette river (Oregon). Engineering 1888 I, S. 9, mit Abb. Die gleicharmige, 79,24 m lange Drehöffnung dieser Brücke ist 8,01 m hoch bei 5,89 m Entfernung der Hauptträger. Der Drehpfeiler ist ganz aus Holz, Zahnkranzgetriebe von Hand, Drehzeit 2 Minuten für 1 Mann, Gewicht der Brücke 3,28 t/m. Ganze Bauzeit der 186 m langen Brücke 5 Monate. Deutliche Zeichnung der Holzkonstruktion.

10. The Kentucky and Indiana bridge. Engineering 1888 I, S. 85, mit Abb. In der sehr langen, eingeleisigen Bahnbrücke, die aufsen auf Kragarmen noch je 2 Fahrwege trägt (insgesamt 14,33 m breit), ist ein gleicharmiges Drehöffnungsfeld von 110,64 m Länge und 14,15 m Höhe über Pfeiler eingefügt. Die Anordnung der Ausfüllungsstäbe des Hauptträgernetzes ist sehr abweichend von der in Amerika meist üblichen. Über zulässige Beanspruchung und angestellte Beobachtungen über Längenausdehnung der Träger durch die Sonnenbestrahlung werden eingehende Mitteilungen gegeben.

11. Pont tournant de Castletown (île de Man). Génie civil 1888, Bd. 13, S. 110, mit Abb. Kleine ungleicharmige Blechdrehbrücke von 9,12 m Länge, trägt auf einer 7,8 m breiten Holzfahrbahn ein Strafsenbahngeleise. Drehkranz- und Endkeilauflagerung mit Handbetrieb vom Pfeiler aus.

12. Drehbrücke im Hafen von New York. Railroad Gaz. 1888, S. 399. Gleicharmige eingeleisige Bahnbrücke von 150 m Länge, bei 4,8 m Hauptträgerentfernung. Gewicht 656 t.

13. Drehbrücke der Lake Erie-Eisenbahn über den Hackensack-Flufs. Railroad Gaz. 1888, S. 469. Die gleicharmige, 63 m lange, zweigeleisige Drehbrücke mit 9 m Hauptträgerentfernung lagert auf einem Rollenkranze von 11 m Durchmesser. Dampfbetrieb, 8pferdiger Dampfkessel.

14. *Drehbrücke über die Peene bei Loitz. Th. Janssen, Zeitschr. f. Bauw. 1889, S. 229, mit Taf. 30 u. 31.

15. *Die Hawarden-Drehbrücke über den Dee-Flufs. The swing bridge over the river Dee. Engineer 1889 II, S. 428, 452, mit Abb.

---

[14]) Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. S. 67.

Pont tournant sur le Dee. Génie civil 1889/90, Bd. 16, S. 92, mit Abh., und 1893, Bd. 23, S. 23 u. Taf. II.

The Hawarden bridge over the river Dee. Engineering News 1892 II, S. 246, mit Abb.

H. Lavollay, Le pont sur la rivière Dee à Hawarden. Nouv. annales de la constr. 1893, S. 33 und Taf. 10 u. 11.

G. Lebris, Les constructions métalliques, 1894, S. 247, mit Abb.

16. The fort Madison bridge across the Mississippi (Jowa). Engineering 1889 II, S. 73, mit Doppeltafeln. Die gleicharmige Drehöffnung der eingeleisigen Bahnbrücke, mit beiderseitig auf Kragarmen angehängten 2,4 m breiten Fufswegen, ist 122 m lang und in ausgedrehter Stellung durch eine Holzkonstruktion vollständig geschützt. Hauptträgerform trapezförmig. Bahn unten. Sonstige nähere Angaben fehlen.

17. The new harbour works at Calais. Engineering 1889 I, S. 607, mit Abb. 4 ungleicharmige Strafsendrehbrücken mit Trambahngeleise, 2 grofse zu je 48,54 m (= 27,99 + 20,55 m) und 2 kleine zu je 35,74 m führen über die Schleusenhäupter der Hafenanlage; Fahrwegbreite 5,20 m, Breite zwischen den Geländerholmen 8,80 m; Hauptträgerentfernung 6,30 m. Die Hauptträger besitzen gerade Unter- und gekrümmte Obergurte und ein bezüglich der Wirkungsweise der inneren Kräfte äufserst unklares Ausfüllungssystem, halb Blechträger, halb Fachwerk mit lotrechten Ständern und doppelten, steif durchgebildeten Schrägstäben. Das Gesamtgewicht der grofsen Brücken beträgt 265 t, einschliefslich des Ballastes im Betrag von 45 t, das der kleinen 190 t (bezw. 30 t) und wird mittels Wasserdruckes angehoben und gedreht; die Maschinerie besteht aus dem Königsstuhl mit der Wasserdruckpresse (Glycerin als Druckflüssigkeit) von 50 Atm. Spannung und den Wipp-, Sperr- und Drehpressen. Für den Notfall ist Handbetrieb vorgesehen.

18. Die Drehbrücken im Bassin Bellot in Havre. Swing bridge at the port of Havre. Engineering 1889 II, S. 538, mit Abb., giebt ohne erläuternden Text die perspektivischen Abbildungen zweier sehr plump aussehender Drehbrücken (einer Blechbrücke und einer Fachwerksbrücke mit vierfachem, steif (⊔-Eisen) durchgebildetem Schrägensystem); ebendaselbst S. 619, mit Abbildung, die von Barret erbaute, 53,02 m (= 35,80 + 17,22 m) lange, ungleicharmige Strafsendrehbrücke mit engmaschigem Netzwerk der Hauptträger. Die Bedienung der Brücke, nämlich das Anheben, Kippen und Drehen erfolgt mittels Wasserdruckes, ähnlich wie bei der Pollet-Brücke; nur der Prefswasser-Königsstuhl ist in abweichender Art durchgebildet und wird dessen Dreh- und Hubkolben durch einen wagrechten Keil (1 : 10) mittels einer wagrechten Druckpresse von 1200 mm Hublänge gehoben und gesenkt.

M. Desprez, Port du Havre, ponts tournants (Bassin Bellot). Ann. des ponts et chaussées 1889 I, S. 35, mit Taf. 4, 5 u. 6, sehr eingehende Beschreibung.

Weyrich, Die Drehbrücken neuester Konstruktion. Glaser's Annalen 1890, Bd. 27, S. 28 u. Taf. I, Fig. 17—20. — Hieraus noch folgende Angaben: Fahrweg aus Holz (mit einem Bahngeleise in der Mitte) 4,62 m, Fufswege 2 × 1,27 m, Hauptträgerentfernung 7,72 m, Trägerhöhen 4 m und 2,60 m. Anhebevorrichtung: Das Brückengewicht beträgt 370 t, von denen, da Druckwasser unter den Hebekolben (920 mm) des Königsstuhles geleitet wird, nur mehr 18 t (wozu noch 50 t aus dem Eigengewicht des Drehzapfens und Cylinders kommen) auf die Reibungsfläche des bereits erwähnten wagrechten Stützkeiles, dessen Druckpresse beim Vorwärtsgang 180 t und beim Rückgang 145 t Kraft ausübt, treffen können. Gewichtsangaben: Eiserner Überbau 197,5 t Schweifseisen, 13,9 t Stahl; 118,5 t Ballast des kurzen Armes; hölzerne Fahrbahn 40,2 t. Bewegungsvorrichtungen: Drehzapfen, Keil und Zubehör 38,6 t; Drehcylinder und Zubehör 14,6 t; Stützrollen und Laufbahn 5,2 t; Lager 2,4 t und Steuervorrichtung und Rohrleitungen 4 t; zusammen 64,8 t. — Aufserdem waren noch für die Fahrbahntafel 16 cbm *pitch-pine*, 22 cbm Eichen- und 7,5 cbm Ulmenholz erforderlich.

19. The Drypool swing bridge, Hull. Engineer 1890 I, S. 4, mit Abb. Ungleicharmige Strafsendrehbrücke von 49,68 m (= 16,76 + 32,92 m) Länge mit geschweiften Obergurtungen; Höhen h = 5,79 m und 0 m; Hauptträgerentfernung 6,10 m. Der Drehpfeiler besteht aus 6 Cylindern von 2,44 m Durchmesser, jeder auf 200 t Tragkraft geprobt. Fahrbahntafel aus Holz mit 4 schmiedeeisernen Schienen gegen allzu rasche Abnutzung versehen. Die Brücke wird auf dem Rollenkranz mittels Wasserdruckes (49,2 Atm. Druck) gedreht. Gewicht der zu bewegenden Teile 480 t. Beim Schliefsen der Brücke laufen die Enden auf stellbaren Keilen auf. Selbstthätige Verriegelung. Die Steuerung erfolgt von der Brückenmitte aus.

Pont tournant de Drypool à Hull. Génie civil 1889/90, Bd. 16, S. 327, mit Taf. 30.

20. *Die Brücke über den Themse-Flufs in Neu London (Conn.) ist am eingehendsten behandelt in der Monographie: A. P. Boller, The Thames river bridge and approaches at New London (Conn.), erschienen in New York: 43 Seiten mit 12 Tafeln und vielen Tabellen über die Proben des verwendeten Herd- und Bessemerstahles.

Pont tournant à double voie ferrée, Thames river, New London. Génie civil 1889, Bd. 15, S. 261, mit Abb.

Foundations of the New London bridge pivot pier of the Thames river draw bridge. Railroad Gaz. 1890, S. 763, mit Abb. Beschreibung der Fundierung des Drehpfeilers mittels Holzcaissons auf Pfahlrost.[15])

G. Lebris, Les constructions métalliques, 1894, S. 249, mit Abb.

21. Portes de garde du pont tournant de Point street à Providence (E. U.) G. Richou, Génie civil 1889, Bd. 15, S. 210, mit Taf. 16. Eine gleicharmige, 1872 gebaute Strafsendrehbrücke, 75 m lang, 11,07 m (= 7,35 + 2 × 1,86 m) breit, war für den gesteigerten Verkehr (bis 79 Drehungen täglich) zu sichern. Hierzu dienen Thore, die durch eine Dampfmaschine, die ohnehin für den Brückenbetrieb vorhanden war, geschlossen werden; das Öffnen erfolgt durch Gegengewichte mittels Drahtkabel (12,5 mm), welche gleichzeitig eine Signalvorrichtung stellen. Seit 1884 im Betrieb, hat der Mechanismus bis jetzt (1889) in Bezug auf Sicherheit und Betriebskosten gut entsprochen.

22. Eine Drehbrücke mit elektrischem Betrieb. Glasers Ann. 1890, Bd. 26, S. 191. Kurze Mitteilung über den Betrieb einer 54 m langen, 18 m breiten und 320 t schweren Drehbrücke in Bridgeport (Conn.) durch eine 7—8pferdige Dynamomaschine; Kraftübertragung durch Zahnräder; sie ist, soweit uns bekannt, die erste gröfsere Brücke mit elektrischem Antrieb.

Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verwaltungen 1890, S. 452. Kurze Mitteilung desselben Inhaltes.

23. Die Kanalbrücke bei den St. Mary-Fällen (N. A.). Kemmann, Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 477, mit Abb. und Taf. 72. Eine 88,83 m lange, 10 m hohe gleicharmige Drehbrücke auf einem Rollenkranz (8 m) gelagert, überspannt mit einem Arm, an dem ein Klappenwehr angebracht ist, den Kanal; das Wehr wird in unbenutztem Zustand in wagrechter Lage so hoch gewunden, dafs der Kanalquerschnitt völlig frei bleibt. Die eigentümlichen Belastungsverhältnisse beim Eintauchen der Schützen und die Art, wie ihnen Rechnung getragen ist, wird näher besprochen. Die Brücke wird nicht verriegelt und durch 6 Mann von Hand gedreht.

24. *Eisenbahnbrücke über die Eider bei Friedrichstadt. Dreessen, Magens und Lesser, Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1890, S. 585 und Taf. 14 u. 22.

25. *Die Baakenbrücke über den Magdeburger Hafen in Hamburg. Weyrich, Glasers Ann. 1890, Bd. 27, S. 45, mit Taf. III, Fig. 6—9.

Weyrich, Die Baakenbrücke in Hamburg. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1895, S. 279, mit Abb. und Taf. 12—16. Genaueste Quelle zum Studium dieses Bauwerkes.

Le pont tournant de Hambourg (Baakenbrücke). Génie civil 1895/96, Bd. 28, S. 390, mit Abb. und Taf. 25.

26. Die gröfste Drehbrücke im Hafen von New-York. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 257, ohne Abb., giebt die kurze Beschreibung einer im Hafen von New-York im Bau befindlichen Drehbrücke von 148,95 m Länge und 656 t Gewicht, bei 4,8 m Breite. Zahnkranzgetriebe mit Dampfmaschinenbetrieb.

27. Draw bridge interlocking. Railroad Gaz. 1890, S. 20, mit Abb. Signalisierung und Verriegelung einer zweigeleisigen Bahndrehbrücke, bei der auf der einen Seite zwei, auf der anderen Seite noch ein Geleis abzweigt.

28. Signaling and interlocking of the Thames river draw bridge. Railroad Gaz. 1890, S. 106, mit Abb. Sicherung der zweigeleisigen Thames river draw bridge Bahnbrücke durch Signal- und Verriegelungsvorrichtungen.

29. Three lever machine for signaling and locking draw bridges. Railroad Gaz. 1890, S. 768, mit Abb. Enthält Einzelheiten einer derartigen Anordnung für eine zweigeleisige Bahn.

30. Appareil hydraulique pour la manoeuvre d'un pont tournant à Gand. Génie civil 1890/91, Bd. 18, S. 247, mit Taf. 23. Eine kleine, 40 m lange (dabei nur eine lichte Durchfahrt

[15]) S. 33 dieses Heftes.

von 17 m), 8 m Breite und 150 t schwere Strafsendrehbrücke (Blechträger) wird seit 4 Jahren durch eine kleine Turbine mit $3^1/_2$ Atm. Druck nach dem System Dulait betrieben; die Übertragung (es mufs die Drehgeschwindigkeit von 200—250 Umdrehungen auf $^1/_4$ Umdrehung umgesetzt werden) wird durch Reibungskuppelungen mittels kegelförmiger Scheiben bewirkt. Der Wasseraufwand beträgt in 75 Sek., das ist die erforderliche Zeit für eine Drehung, 350 l = 0,035 Frs. Das Wasser hierzu wird der städtischen Leitung entnommen. Anzahl der täglichen Umdrehungen ungefähr 30mal. Einrichtungskosten der ganzen Bewegungsvorrichtung 3240 M.

31. *Vorrichtung zur Herstellung eines genauen Schlusses der Drehbrücke bei Camp-Carnin. Lademann, Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 362, mit Abb.

32. The swing span and pivot pier of the Coteau bridge (U. S.). Engineering News 1891 I, S. 524, mit Doppeltafel. Eingehende Beschreibung der Endhebe- und Drehvorrichtung der eingeleisigen, 77,72 m langen Drehöffnung. Die Endhebung erfolgt durch eine Schraube ohne Ende von der Pfeilermitte aus durch Gestänge; die Drehung auf dem Rollenkranz wird, gesondert hiervon, mittels Zahnkranzgetriebe in üblicher Weise bewirkt. Handbetrieb. Die Beschreibung der Brücke selbst war im Aprilheft 1890.

33. *Carrying a cable railway across a draw bridge. Engineering News 1891 II, S. 296, mit Abb.

34. *Swing span of the Winona bridge (over Mississippi river). Engineering News 1891 II, S. 370, mit Tafel. Vollständiges Mafs- und Kräftenetz der Hauptträger.

35. *Note sur le pont tournant de Pollet (Dieppe). M. P. Alexandre, Ann. des ponts et chaussées 1891 II, S. 584, mit Taf. 66—68, giebt die eingehendste Schilderung dieser Brücke, einschliefslich der Berechnung der Bewegungsvorrichtungen.

The Pollet swing bridge. Engineer 1892 II, S. 95, 134, 148 u. 218, mit Abb.

Le pont tournant du Pollet. Ann. industr. 1892 I, S. 391, 453, 484 u. 517, mit Abb. und Taf. 27—30 u. 35.

Pollet bridge. Railroad Gaz. 1892, S. 631, mit Abb.

Gérard Lavergne, Pont tournant du Pollet, à Dieppe. Génie civil 1893, Bd. 23, S. 33, mit Abb. und Taf. 3.

36. *Swing bridge over the Glamorganshire canal. Max am Ende, Engineer 1891 II, S. 105, mit Abb. Eingehende Beschreibung; auch Angaben über die Zapfenreibung am Königsstuhl.

Pont tournant sur la canal du Glamorganshire à Cardiff. Génie civil 1891, Bd. 19, S. 324, mit Taf. 21.

37. *Bridge over the Snake river at Riparia, Washington. G. Morison, Engineering 1891 II, S. 526, mit Abb.

38. *The Clarence bridge at Cardiff (South Wales). Engineering 1891 I, S. 127, 185, 276, 332 u. 349, mit Abb. u. 2 Doppeltafeln. Sehr eingehende Beschreibung des ganzen Bauwerkes nebst Mitteilungen über Proben des verwendeten Schweifseisens, Stahles u. s. w.

Clarence. Engineering News 1891 I, S. 259, ohne Abb.

39. *The Manchester ship canal. Engineering 1891 I, S. 188, mit Abb. S. 190. Kurze Beschreibung der Strafsendrehbrücke bei Moorlane; siehe auch die frühere Tabelle, S. 26.

40. Pont et bassin du Sporweghaven (Hollande). M. E. Lippmann, Mém. de la société des Ing. civ. 1891 II, S. 700 u. 726, mit Taf. 51, Fig. 12 u. Taf. 52, Fig. 15 u. 30. Reisebericht. Kurze Beschreibung einer gleicharmigen Strafsendrehbrücke, 55,20 m lang, 8,90 m breit und 300 t schwer, mittels Zahnkranzgetriebes von Hand bewegt und einer der Rotterdamer[16]) ähnlichen Drehbrücke von 53,56 m Länge. Dessen Hauptträgergewicht wird mittels dreier 0,17 m dicker und 3,17 m langer Zapfen in nicht näher beschriebener Weise auf einen Königsstuhl übertragen. Beschreibung des Triebwerkes ohne weitere Gewichts- und Kostenangaben.

41. Swinging draw bridge by electricity. Railroad Gaz. 1891, S. 578, mit Abb. Beschreibung der Neueinrichtung für elektrischen Antrieb einer bislang mit Dampfkraft bewegten, 73,15 m langen, 17,98 m breiten und 800 t schweren, gleicharmigen Drehbrücke auf Rollenkranz (14,62 m). Die Zuleitung des elektrischen Stromes aus der ungefähr $^3/_4$ engl. Meilen entfernten Centralstation zu dem Drehpfeiler erfolgt durch unterirdische, doch im Notfall leicht erreichbare Kabel, die zu einem 25pferdigen Motor führen, an dem der Bewegungsmechanismus angehängt ist. Die Steuerung bethätigt der Maschinist durch Handhebel von dem über dem Pfeilerfach aufgestellten Häuschen

[16]) Handbuch der Ingenieurwissenschaften, Bd. II, 3. Abt., Taf. III, Fig. 9.

ans, in welchem ein Glühlicht brennt, zur Kontrolle, dafs der Strom auch richtig läuft. Es ist ferner eine Einrichtung getroffen, um den Drehsinn der Brücke wechseln zu können, ohne die Richtung des Hauptstromes ändern oder unterbrechen zu müssen. Die erforderliche Spannung für den elektrischen Motor beträgt ungefähr 500 Volt (ist aber wesentlich geringer zwischen den letzteren und der Centralstation) und die Stromstärke zum Drehen 35 Ampère. Die Hauptwelle kann jedoch im Bedarfsfall (Sturm) binnen 2 Minuten auch noch mit der Dampfmaschine verbunden werden. Als Vorzug der Neueinrichtung wird hervorgehoben, dafs gleich beim Anlaufen der elektrische Motor mit voller Kraft zur Wirkung kommt und ferner die Brücke sich ohne das bisherige Knarren und ohne Schwingungen glatt und ruhig dreht, auch in jedem Augenblick gebremst, und sogar in umgekehrter Richtung gedreht werden kann. Ferner entfällt bei Neuanlagen (ohne gleichzeitigen Dampfkraftbetrieb wie hier) das die Brücke belastende Gewicht, bestehend aus Dampfmaschine, Kessel, Wasser- und Kohlenbehälter u. s. w., sowie jede damit verbundene Verkehrsbelästigung durch Rauch und Schmutz.

42. The Liverpool overhead railway. Engineering 1891 II, S. 741, mit Abb. und Doppeltafel. Näheres dieser Drehzugbrücke S. 73 dieses Heftes.

43. *Cantilever supports for a swing span. Engineering News 1892 II, S. 441, mit Abb. (vergl. Fig. 36 auf S. 31).

44. *Competitive designes for a draw bridge over the Duluth ship canal. Engineering News 1892 II, S. 390, mit Tafel. Eingehende Besprechung der bemerkenswerteren Entwürfe dieses Wettbewerbes.

P. Crépy, Projets d'un pont mobile sur le canal de Duluth (E. U.). Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 101, mit Taf. 7.

45. Drehbrücke im Hafen von Bregenz. A. Oelwein, Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1892, S. 298, mit Fig. 10 auf Taf. 23. Kleine, ungleicharmige Drehbrücke von 30,77 m (= 12,67 + 18,10 m) Länge, Parallelträger, wird mittels eines Gangspilles zuerst gehoben und dann auf 72 Eisenkugeln (Patent Weikum) gedreht. (8 Mann in 10 Minuten.)

46. Eisenbahnbrücke über den Deime-Flufs. Schnebel, Centralbl. d. Bauverw. 1892, S. 333, mit Abb. Im Zuge dieser Brücke ist ein kleines Drehfeld (12,5 m Lichtweite), deren etwas abweichende Sicherungsanlagen näher beschrieben werden.

47. Harlem river bridge at 155. street, New York. Engineering News 1892 I, S. 256, mit Abb. und Ebendaselbst 1893 II, S. 199, mit Abb. Die gleicharmige, 125,45 m lange, 21,03 m breite (12,19 m Fahrweg und auf Kragarmen 2 × 3,2 m Fufswege) Strafsenbrücke ist, in der äufseren Erscheinung ähnlich der bereits beschriebenen Themse-Brücke in Neu London, in der Mitte 19,05 m, an den Enden 7,62 m hoch; deren Hauptträgerentfernung 13,26 m. Fahrbahn Beton und Asphalt auf Buckelplatten; Fufswege Asphalt. Das zu drehende Gewicht beträgt 2400 t und wird auf einen Doppel-Rollenkranz (12,32 m Dmr.) von je 64 Gufsstahlrollen übertragen. Dampfkessel, Maschine und Druckluftbehälter zu der mittels Druckwasser betriebenen Endhebe- und Bremsvorrichtung sind sämtlich im Raume unterhalb des Drehtisches untergebracht. Material weicher Stahl. Gesamtkosten 5 250 000 M.

Caisson for pier draw bridge; the 155. street viaduct and the 7. Avenue draw bridge, N. Y. City. Railroad Gaz. 1893, S. 20, mit Abb.

Haesler, Gründung der Drehpfeiler der 7. Avenue-Brücke in New-York. Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 465, mit Abb., behandelt die Luftdruckgründung des Drehpfeilers (18 m Durchmesser), der eine besondere Anordnung des Senkkastens, sowie des Pfeilers selbst aufweist.

Railroad Gaz. 1895, S. 302. Kurze Mitteilung über die am 1. Mai erfolgte Eröffnung.

48. *The Darling harbor bridge competition at Sidney, New South-Wales. Engineering News 1892 II, S. 298, ohne Abb. Polemik und Gründe, warum an dieser Preisbewerbung so wenig amerikanische Ingenieure sich beteiligten.

A floating swing bridge. Ebendaselbst 1893 I, S. 141, mit Abb. Ausführliche Beschreibung dieses Entwurfes.

49. Plate girder draw over the Dismal swamp canal. Engineering News 1892 II, S. 417, mit Abb. und Tafel. Diese zweigeleisige, ungleicharmige, 36,58 m (= 23,32 + 13,26 m) Eisenbahndrehbrücke wurde an Stelle einer alten Brücke errichtet. Gegengewicht 58,8 t aus Ziegelsteinen und Beton; Gesamtgewicht, einschliefslich des Gegengewichtes 200 t. Die 4 Hauptträger wurden, je einer zusammengenietet, 250 engl. Meilen weit mit der Bahn verschickt. Wandbleche der Hauptträger 2,08 m × 9,8 mm; Gurtungswinkel 137 × 114 × 9,5 mm. Deckflacheisen: 4 × 356 × 11 und 1 × 356 × 9,5 mm. Center bearing Auflagerung über Pfeiler (ähnlich Fig. 46 *d*, S. 36) und End-

auflagerung mittels Keilen, durch Zeichnung deutlich dargestellt. Handbetrieb durch einen Mann mittels 2 Antriebshebeln, von denen einer zum Endheben und Verriegeln, der andere zum Drehen dient. Materialverteilungsplan für die Hauptträger.

50. Fraser river bridge, Canadian Pacific railway. Railroad Gaz. 1892, S. 873, mit Abb. Hölzerne Drehbrücke.

51. The Madison street bridge. Railroad Gaz. 1892, S. 189, mit Tafel. Ausführliche Beschreibung der 60,04 m langen Strafsendrehbrücke (mit Tramhahngeleise), sowie Darstellung der Bewegungsvorrichtungen. Hauptträgerentfernung 11,28 m; Fufswege 2 × 2,13 m auf Kragarmen aufserhalb der Hauptträger. Brückengewicht 375 t einschliefslich Drehtafel auf dem Rollenkranz; die Feststellvorrichtung ist, abweichend von der in Amerika meist üblichen, mit Federn versehen, welche beim Einschwenken pufferartig wirken. Kosten 220500 M. Die Brücke wird nur in festgestellten Zeiträumen, nach welchen sich die Schiffahrt zu richten hat, geöffnet.

52. Swing bridge for Kidderpore docks (Calcutta). Engineer 1892 I, S. 350, mit Abb. Ungleicharmige Blechträgerbrücke von 26,21 m (= 16,61 + 9,60 m) Länge, 1,68 m Höhe (Parallelträger) und 6,12 m Hauptträgerentfernung mit Durchfahrtsöffnung von 12,19 m. Rollenkranz. Am kurzen Arm 25 t Ballast. Endauflager: Keile mit den üblichen Kurbelgetrieben. Handbetrieb: 2 Mann $1^1/_2$ Minuten um 90°.

53. *End adjusting gear for draw bridge. Turner u. Warner, Engineering News 1892 I, S. 386, mit Abb. M. J. Patterson, Ebendaselbst S. 458, mit Abb. Beide machen Vorschläge, um durch eine besondere Art der Endauflagerung bezw. Endhebung statisch bestimmte Hauptträgersysteme zu erhalten; gleichzeitig wird der rechnerische Nachweis des ökonomischen Wertes dieser Anordnung erbracht.

54. Pont tournant de Duffel. Rev. gén. des chemins de fer 1892 I, S. 160, mit Abb. Es werden die bei dieser Brücke getroffenen Anordnungen, die zum Zwecke eines guten Schlusses der Schienenköpfe an den Brückenenden dienen, besprochen.

55. *The 520′ span; Interstate bridge (Omaha). Engineering News 1893 II, S. 225, 410 und 448, mit Abb. und Tafel. Pile-driving by water jet, Ebendaselbst 1894 I, S. 316, mit Abb. Eingehende Mitteilung über die Gründungsart der Zwischenpfeiler mittels Wasserspülung. (Der Drehpfeiler wurde mittels Senkkasten ausgeführt.)

56. *The Harlem four-track draw bridge, New York Central and Hudson river Railroad. Railroad Gaz. 1893, S. 602, mit Abb. Eingehende Beschreibung dieser Brücke einschliefslich der Gründung des Drehpfeilers.

Harlem river draw bridge. Engineering News 1893 I, S. 559, mit Abb. und 1893 II, S. 167 u. 198, mit Abb.

The Harlem river four-track draw bridge. Engineering rec. 1896 I, S. 133, 184 u. 221, mit Abb.; bringt vollständige Spannungsnetze der Hauptträger, Einzelheiten des Drehtisches, der Endauflagerung u. s. w.

57. *The third Avenue bridge over the Harlem river. Railroad Gaz. 1893, S. 684, mit Abb. und Ebendaselbst 1895, S. 324, The pivot pier of the 3. Avenue bridge over the Harlem. Eingehende Beschreibung der Pfeilergründung. Die Mitte des Pfeilers ist unbelastet (Rollenkranzauflagerung) und daher hohl. Das Gewicht des Pfeilers beträgt ungefähr 8234 t; die Drehöffnung wiegt 1800 t; zusammen 10034 t Flufssohlenbelastung; dies giebt ungefähr 2,51 kg/qcm mittleren Bodendruck. Es folgen Angaben über Mischungsverhältnisse des Beton, Holzgattungen für den Senkkasten u. s. w. Letzterer, aus Holz und Beton bestehend, war achteckig, 6,10 m hoch mit 23,78 und 9,14 m eingeschriebenen Durchmessern, hatte Arbeitsräume für 60 Mann und wurde bis 15,24 m unter Hochwasser abgesenkt. Die neue Drehbrücke kommt an Stelle einer bereits bestehenden und mufs durchschnittlich 60 mal täglich geöffnet werden.

58. *An automatic end latch for swing bridges. Engineering News 1893 II, S. 118, mit Abb. Selbstthätiger Drehbrückenverschlufs. Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 400, mit Abb.

59. W. Ritter, Der Brückenbau in den Vereinigten Staaten Amerikas (Weltausstellungsbericht) 1894, S. 65. Mitteilung über eine 73 m lange, gleicharmige, zweigeleisige Drehbrücke, die durch einen Gasmotor in Bewegung gesetzt wird. (Für den Notfall Handbetrieb.) Drehzeit 1 Minute bei nur 4,2 Pf. Kosten; Anzahl der Drehungen bis zu 104 mal täglich. Die Brücke hat an den Enden keine Hebevorrichtung, sondern läuft beim Schliefsen glatt auf 8 festgelagerten Rollen, die in den ver-

schiedenen Jahreszeiten nur durch Unterschieben und Wegnehmen von Blechstücken geregelt werden. Diese Endauflagerung wird in Amerika häufig angewendet.[17])

60. *The Manchester ship canal; VII. The opening bridges und VIII. Barton swing aquaduct. Engineering 1894 I, S. 116—124, mit Abb. und 2 Tafeln. Ausführliche, durch viele Abbildungen erläuterte Beschreibung der Drehbrücken dieses Kanales, besonders der Barton-Kanal-Drehbrücke.

 Drehbare Kanalbrücke bei Barton (Manchester-See-Kanal). Deutsche Bauz. 1894, S. 407, mit Abb., enthält eine kurze, alles wesentliche enthaltende Beschreibung der Barton-Kanalbrücke.

61. *Turning and lifting machinery for 450′ swing span (Alton bridge). Engineering News 1884 I, S. 488, mit Tafel. Zahlreiche Einzelheiten und schaubildliche Darstellung der Antriebsmaschine (Reibungskuppelungen).

62. *A 182′ (= 55,47 m) span plate girder swing bridge. Engineering News 1894 II, S. 65, mit Tafel.

63. Pont tournant sür la Williamette, à Portland (Oregon). G. Lebris, Les constructions métalliques, 1894, S. 251, mit Abb. Die gleicharmige, 103,60 m lange, 12,19 m hohe Drehöffnung ist als Parallelträger ausgebildet und trägt über dem Untergurt ein Bahngeleise, in halber Höhe der Hauptträger eine Fahrbahntafel. Der 800 t schwere, stählerne Überbau ruht auf einem Rollenkranz und kann in einer Minute ausgedreht werden.

64. Pneumatische Gründung des Pfeilers einer Drehbrücke über den Nordsee-Kanal (Holland). Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 1076, mit Abb. Luftdruckgründung eines Drehpfeilers von 8 m Durchmesser, bei welcher die Arbeitskammer aus einer Steinkuppel gebildet wird; genaue Beschreibung des Arbeitsvorganges und der mit letzterem beabsichtigten Vorteile; Angabe der Abmessungen, der Gewichte und der Gesamtkosten.

65. *Machinery for operating a 247′ swing bridge by a Pelton wheel. Engineering News 1894 II, S. 266, mit Tafel.

66. West India dock improvement works. Engineering 1894 II, S. 539, mit Abb. Mit Wiederbenutzung der Teile einer zweigeleisigen, ungleicharmigen Drehbrücke (Parallelfachwerkträger mit doppelter, steifer Ausfüllung, Fahrbahn unten, Antrieb mittels Wasserdruckes vom Königsstuhl aus) wurde aus einer Brücke von 38,71 m eine von 46,38 m hergestellt, wobei die Höhe von 2,13 auf 3,35 m erhöht werden mufste.

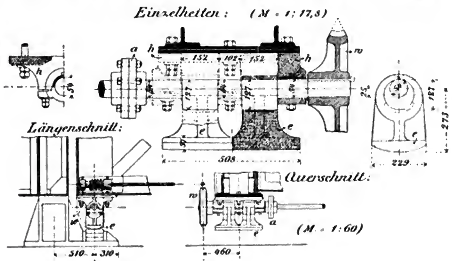
67. *Eine neue Abhebevorrichtung für Drehbrücken. Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 43, m. Abb.

 Passaic draw bridge; New York, Lake Erie and Western Railroad. Railroad Gaz. 1893, S. 865, enthält eine ausführliche Beschreibung dieser neuen Anordnung.

68. *Riegelvorrichtung an Drehbrücken. Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 490, mit Abb. Von Vanderlinden erfunden, für eine Drehbrücke über die untere Schelde bei Gent (Belgien) ausgeführt.

69. M. H. Warren, Engineering construction in iron, steel and timber 1894, London und New York, S. 322—332, mit 4 Tafeln. Der Entwurf einer gleicharmigen Strafsendrehbrücke von 46,46 m Länge und 5,48 m Fahrwegbreite, mit doppeltem Fachwerk von nicht begründeter, aufsergewöhnlich kleiner Trägerhöhe (in der Mitte 2,13 m) enthält nebengezeichnete Anordnung der Endauflager (Fig. 61), deren Wirkungsweise zwar sehr einfach und klar ist, die jedoch an dem Übelstand leidet, fortwährender Schmierung zu bedürfen, damit die Excenter-Auflagerscheibe *e* durch ihr Eigengewicht allein stets in lotrechter Stellung pendelnd gehalten wird.

Fig. 61. *Endauflager einer Strafsendrehbrücke. Entwurf.*



[17]) Johnson, Bryan, Turneaure, Theorie and practic of modern framed structures, New York 1893, S. 365, Fig. 394.

70. Plate girder swing bridge over the Bronx river, New York City. Paterson, Engineering News 1895 I, S. 2, mit Abb. und Tafel. Die viergeleisige, gleicharmige, 53,56 m lange, vollwandige Drehöffnung besitzt 3 Hauptträger in je 8,68 m Entfernung und wiegt 550 t. Fahrbahn unten. Die oberen Hauptträgergurtungen sind nach einem Halbmesser von 338 m gekrümmt. Eingehende Beschreibung des Rollenkranzes, des ziemlich verwickelten Endhebe- und Verriegelungsgetriebes, das von dem Maschinenhaus aus, welches auf einem besonderen Aufbau über der Brückenmitte steht, gesteuert wird. Für den Notfall Handbetrieb. Der Antrieb erfolgt durch einen elektrischen Motor von 25 nominellen (43 garantierten) Pferdekräften, wobei der Strom der Stadtleitung entnommen wird. Die Proben ergaben folgendes Ergebnis: 1. Öffnen: Anlauf der Maschine, gröfste Kraft 29,7 HP.; Heben der Schienen und Ziehen der Endauflagerkeile 9,1 HP. und 30 Sek.; Ausdrehen der Brücke 19,3 HP. und 1 Min. 40 Sek. 2. Schliefsen: Anlauf der Maschine 36,3 HP.; Eindrehen 20,8 HP. und 1 Min. 50 Sek.; Niederlassen der Schienen und Festlegen der Keile 8,9 HP. und 30 Sek. Material des Überbaues mit wenigen Ausnahmen Schweifseisen. Durch nachträglichen hellen, grauweissem Anstrich wurde die durch die Wärmestrahlung der Sonne hervorgerufene Ausbiegung der Gurtung von 9,5 mm auf die Hälfte herabgemindert.

71. *Double swing bridge at Columbus, Cleveland (Ohio). Engineering News 1895 II, S. 82, mit Abb. und Tafel. Sehr eingehende Beschreibung mit zahlreichen Abbildungen.

72. The Sioux City bridge. Engineering News 1895 II, S. 370, mit Abb. Die von Waddell entworfene gleicharmige, 143,26 m lange Drehöffnung dieser 455 m langen Brücke trägt ein Geleise, 2 Fahr- und 2 Fufswege und wiegt 1360 t. Die ganze Brücke wurde in der Zeit vom 8. September bis 28. Oktober aufgestellt.

73. The new Delaware river bridge of the Pennsylvania Railroad. Railroad Gaz. 1895, S. 216, mit Abb. Entwurf einer Bahnbrücke. Das gleicharmige Drehfeld der zweigeleisigen Bahnbrücke ist 98,45 m lang, 18,29 m in der Mitte hoch. Jede Hälfte der Hauptträger ist in drei aufsergewöhnlich grofse Hauptfache von 16,3 m Länge, die für die Aufhängung der Fahrbahn in 8,15 m-Fache untergeteilt sind, zerlegt. Die Auflagerung über dem Drehpfeiler erfolgt, abweichend von der üblichen, durch einen Königsstuhl und Keile an den Enden der Drehpfeilerquerträger. An den 4 Enden der Hauptträger kann ein Gegendruck von je 50 t geleistet werden, der durch unmittelbar wirkende Schrauben ausgeübt werden soll; bei der Ausführung werden statt ihrer vielleicht Keilvorrichtungen oder mittels Wasserdruckes betriebene Winden angeordnet. Es werden die näheren Bedingungen mitgeteilt, in welchen als Öffnungszeit 1 Minute, als Material für die Hauptträger mittelweicher, für die Fahrbahntafel weicher Stahl vorgeschrieben ist. — Ebenda selbst S. 550: Kurze Mitteilung über einen Unfall bei der Gründung des Drehpfeilers, durch Losreifsen und Fortschwimmen des Senkkastens desselben.

74. *Die Drehbrücken des Nord-Ostsee-Kanales (Kaiser Wilhelm-Kanal). Loewe, Festschrift zur Eröffnung des Nord-Ostsee-Kanales, 1895, S. 30, Brücken und Fähren, mit Taf. 14 u. 15.

B. Gerdau, Die Drehbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal. Stahl und Eisen 1895 I, S. 190, mit Abb. und Taf. 4.

Reverdy, Bauausführung des Nord-Ostsee-Kanales, mit kurzen Erläuterungen. II. Lief. Taf. 70, 77 u. 96.

Fr. Eiselen, Der Nord-Ostsee-Kanal (Brücken). Deutsche Bauz. 1895, S. 173, mit Abb.

Sympher, Die Vollendung des Nord-Ostsee-Kanales. Centralbl. d. Bauverw. 1895, S. 272, mit Abb.

Koch, Die Drehbrücken über den Kaiser Wilhelm-Kanal. Zeitschr. f. Bauw. 1896, S. 69, mit Abb. und 2 Doppeltafeln 14/15 u. 16/17. Eingehendste Beschreibung in deutscher Sprache.

North-East-Sea Canal. Engineering 1895 II, S. 234, mit Doppeltafel. Eingehendste Beschreibung in englischer Sprache.

Railway swing bridge over the Baltic Canal at Rendsburg. Engineer 1895 II, S. 127, mit Abb. und S. 142, ohne Abb., woselbst letzterer Brücke mit den Worten: „Sie sticht durch ihre gefällige Leichtigkeit gegen die bei uns gebauten Drehbrücken ab“, eine schöne Anerkennung ausgesprochen wird.

75. *Drehbrücke mit Druckwasserbetrieb im Ruhrorter Hafen. Beyerhaus, Zeitschr. f. Bauw. 1895, S. 537, mit Taf. 69—71.

76. Prahm-Drehbrücke in Holtenau. Sympher, Die Vollendung des Nord-Ostsee-Kanales. Centralbl. d. Bauverw. 1895, S. 273. Kurze Mitteilung, dafs diese Brücke nach den Angaben des Geh. Baurats Fülscher nach ganz neuer Anordnung gebaut wurde.

Deutsche Bauz. 1895, S. 175. Kurze Bemerkung.

The hydraulic swing bridge over the North-East Canal. Engineering 1895 II, S. 238. Fragliche Brücke (prame bridge) besteht aus 2 Flügeln, jeder in einem Boote schwimmend, die im geschlossenen Zustand einen stumpfen Winkel bilden; sie wird durch Petroleummotoren betrieben. Weitere Mitteilungen über dieses beachtenswerte Brückensystem wurden leider nirgends veröffentlicht.

77. Drehbrücke über die Lothse bei Harburg. Schelten, Zeitschr. f. Bauw. 1896, S. 275, mit Taf. 36. Die 38,44 m lange Drehbrücke (2 Durchfahrten von je 15 m) ist als Blechträger mit wagrechtem Ober- und geknicktem Untergurt nach Schwedler's System ausgebildet. Trägerhöhe 1,50 m bezw. 1 und 0,82 m. An die 5 m breite Fahrbahn schliefsen, auf Kragarmen lagernd, 2 Fufswege, je 1,50 m breit; erstere aus Kieferntragbohlen (12 cm), darauf Holzpflaster aus *pitch-pine*-Klötzen (10 cm); letztere aus kiefernen Bohlen (5 cm). Der Eisenüberbau wurde aus basischem Martin-Siemens-Flufseisen hergestellt; Gewicht desselben, ausschliefslich aller Maschinenteile, 66,5 t, Belag 53,5 t, insgesamt 120 t. Am einen Ende ist eine selbstthätig wirkende Einklinkvorrichtung mit Puffer, die vor Beginn der Drehung mittels Hebelzuges auszuschalten ist, angebracht. Als Motor dient eine zweipferdige Gaskraftmaschine, bezw. doppeltes Vorgelege mit Handbetrieb. Die Maschinenanlage befindet sich in einem gufseisernen Gehäuse über dem Drehpfeiler, wasserdicht abgeschlossen und ist mit 15 seitlichen und 8 Oberlicht-Fenstern versehen. Der Maschinist wird durch den Hafenaufseher befehligt, während an jedem Brückenende ein Mann die Sperrketten zu schliefsen und den Landeverkehr zu überwachen hat. Eine vollständige Brückenbewegung erfordert 260 Sekunden. Die Mittelstütze der Hauptträger ist um 15 mm überhöht. Kosten: Eiserner Überbau 26900 M., maschinelle Einrichtung 17000 M.

78. Swing bridges in the port of Marseilles (de la Joliette). Engineering 1896 I, S. 709, mit Abb. Es wird eine kurze Übersicht über die im Hafen ausgeführten beweglichen Brücken gegeben und besonders der in neuerer Zeit ausgeführten Erwähnung gethan. Die im Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. S. 124 unter No. 31 aufgeführte und auf Taf. III, Fig. 23 nur in Linien dargestellte Strafsen- und Bahnbrücke wird an der Hand deutlicher Zeichnungen, besonders des mittels Wasserdruckes beweglichen Drehzapfens, eingehend beschrieben.

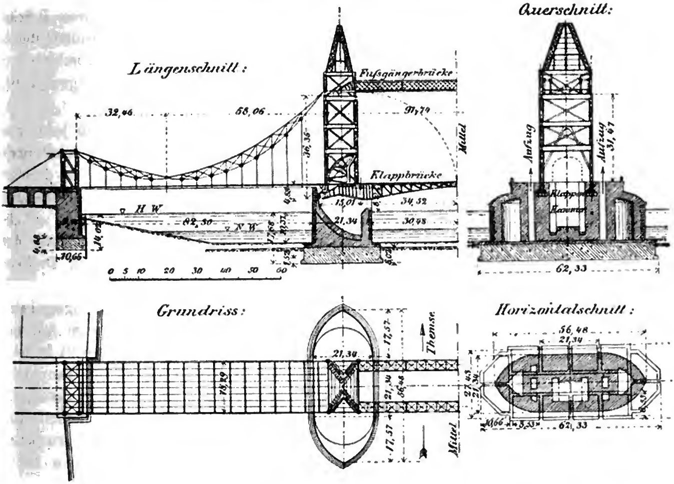
II. Klapp-, Schaukel- und Faltbrücken.

Eine Gruppierung der soeben genannten Brückengattungen nach Ländern, ähnlich wie sie für Drehbrücken aus Gründen, deren Zweckmäfsigkeit der am Schlufs des vorliegenden Heftes gegebene Vergleich der verschiedenen Systeme neuerer beweglicher Brücken darthun dürfte, durchgeführt wurde, ist hier nicht nötig, da einerseits das System der gewöhnlichen Klappbrücken nicht neu ist, sondern blofs durch die aufsergewöhnlichen Abmessungen, sowie die Art und Weise seiner Verwendung bei der Tower-Brücke in London wieder hervorragende Bedeutung erlangt hat, andererseits die neuen Systeme der „Falt- und Schaukelbrücken" Anordnungen zeigen, die, in den Vereinigten Staaten Nord-Amerika's sowohl erdacht, als auch konstruktiv durchgebildet, bisher daselbst allein ausgedehnte praktische Verwendung gefunden haben.

a. Die Tower-Brücke über die Themse in London [Litt. 2].

Fig. 62 zeigt die Hauptabmessungen dieses aufsergewöhnlichen Bauwerkes, dessen Beschreibung, sollte der Rahmen des vorliegenden Heftes nicht erheblich überschritten werden, auf das knappeste gehalten werden mufste. Anhaltspunkte für eingehenderes Studium bietet der Litteraturnachweis.

Fig. 62. *Tower-Brücke über die Themse in London.*



Allgemeine Anordnung. Die fast genau 800 m lange Brücke gliedert sich in die beiden überwölbten Zufahrten (mitwirkend als Ankerungskörper der schrägen Endspannketten), die 2 festen Aufsenöffnungen (dreigelenkige, ungleichschenkelige Kettenfachwerke), die bewegliche untere Mittelöffnung (mit den beiden Klapparmen) und die durch einen leeren Zwischenraum getrennten (Fig. 62, Grundrifs) beiden oberen, festen Fufsgängerbrücken, welche als Kragträger (17,98 m) mit frei eingehängtem Mittelfeld (36,19 m lang) ausgebildet wurden. Zur Stützung der Aufsenöffnungen dienen die Stahltürme über den Widerlagern und Zwischenpfeilern, auf deren Köpfen die Kettenfachwerke wagrecht verschieblich aufgelagert sind, deren wagrechte Zugkraft zwischen den beiden Pfeilertürmen durch ein besonderes Zugglied, in Höhe des Untergurtes der Fufsgängerbrücke liegend, aufgenommen wird. Das gesamte Tragwerk ist allein an dem südlichen und nördlichen Brückenende mittels der schrägen Spannketten fest verankert, über allen Pfeilerauflagerpunkten wagrecht verschieblich angeordnet; es ist demnach nur für das Eigengewicht (symmetrische Belastung) bezüglich der Auflagerkräfte im Gleichgewicht; bei ungleichmäfsiger Belastung oder ungleicher Erwärmung tritt, da es statisch einfach überbestimmt und einfach verschieblich ist, eine Verschiebung der Auflager ein, die dadurch aufgehoben wird, dafs noch ein Gelenkpunkt des Tragwerkes durch einen besonderen Versteifungsträger festgehalten wird, indem durch letzteren eine unverschiebliche Verbindung des Scheitelgelenkes der südlichen Aufsenöffnung mit einem festen Punkte des südlichen Uferpfeilers hergestellt ist.[18])

[18]) Barkhausen, Die neue Brücke über die Themse in London. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 518.

Die Fahrstraſsenbreite beträgt 10,67 m; beiderseits sind 3,73 m breite Fuſswege; diese Maſse verringern sich für die beiden Klappteile, um deren Gewicht zu mindern, auf 9,75 m bezw. 2,59 m, insgesamt von 18,13 m auf 14,83 m. Bei geöffneter Brücke erfolgt der Fuſsgängerverkehr auf den beiden oberen gesonderten Wegen, vermittelt durch die mittels Wasserdruckes betriebenen Aufzüge in den Pfeilertürmen. Bei geschlossener Brücke können, da das Verkehrsprofil durch die Portale auf 10,36 m eingeengt ist, die Fuſsgänger um die Pfeilervorsprünge auſsen herumgehen.

Klappbrücken der Mittelöffnung. Jede Klappe besteht aus 4 in je 4,11 m Entfernung angeordneten Hauptträgern, die im wesentlichen je einen ungleicharmigen Hebel darstellen, der mittels einer Welle von 533 mm Durchmesser um diese drehbar aufgelagert ist. Der lange Arm bildet ein Bogenfachwerk mit trogförmigen Gurtungen und einfachem, steif konstruiertem Ausfüllungssystem, der kurze Arm einen Blechkasten, der mit 322 t Blei und 132 t Guſs derart gegengewichtet ist, daſs der Schwerpunkt des Gesamtgewichtes einer belasteten Klappe (1240 t) mit der Drehaxe zusammenfällt. Die Stützung der Hauptträger erfolgt während der Drehung durch Lagerschalen, die auf 8 gekröpften Kastenträgern befestigt sind; in diesen Lagerschalen dreht sich die obenerwähnte 533 mm starke Welle, welche mit den 4 Trägern fest verkeilt ist, mittels eines Rollenkranzes, der aus Rollen von 113 mm Durchmesser[19]) besteht; letztere Anordnung hat sich als nötig erwiesen, um die Reibung dieser Hauptwelle herabzumindern. Bei geschlossener Brücke ist obige, 25 t schwere Welle entlastet, die 4 Hauptträger ruhen auf festen Lagern an der fluſswärts gelegenen Pfeilerseite und fassen mit dem Ende des kurzen Trägerarmes unter Lagerplatten der bereits erwähnten gekröpften Kastenträger am landwärts gelegenen Pfeilerrand. An den beiden Enden der durchlaufenden Welle sitzen Getriebe, die durch je 2 Druckwassermaschinen bewegt werden; die Drehung der Klappen selbst wird durch Zahnbogen (einen Viertelkreis umfassend), die auf den äuſsersten Hauptträgern befestigt sind (Fig. 62, Längenschnitt), bewirkt.

In der Mitte der Mittelöffnung verhindern 127 mm starke Riegel, die durch Brückenwärter vom Pfeiler aus mittels Wasserdruckes gesteuert werden, ungleichmäſsige elastische Bewegung der beiden Klappbrücken bei einseitiger Verkehrsbelastung. Der Schluſs der Fahrbahntafel wird lediglich durch möglichst enge Ausbildung der lotrechten Fuge in der Fahrbahntafel und oberen Abschluſs derselben durch eine wagrechte, um ein Scharnier drehbare Platte herbeigeführt. Bei den Zwischenpfeilern liegt die Fuge auſserhalb der Drehachse und konnte daher nicht mehr lotrecht gestaltet werden. Der Abschluſs erfolgte durch eigens geformte, jedoch einfache Guſskasten und oben mit wagrechten Platten in Scharnieren.[20]) Die Anordnung für die Auſsenöffnungen, unter dem Scheitelgelenk der Kette und unter den Pfeileranschluſspunkten, ist in anderer Art (nur wagrecht verschieblich) getroffen worden.[21])

Das Einbringen der Klappen war eine sehr schwierige Arbeit, infolge der auſsergewöhnlichen Gewichte der einzelnen Stücke. Die Fahrbahntafel der Klappen ist abweichend wie bei den Auſsenöffnungen ausgebildet, Fuſs- und Fahrweg sind mit aufwärts gewölbten Buckelplatten abgedeckt und hierauf ruht die Holzpflasterung.

Die Klappen erhielten durch die in 3,66 m Entfernung eingesetzten Querträger, sowie durch steife Kränze zwischen diesen und den Hauptträgern, und durch die Buckel-

[19]) J. E. Tuit, The Tower bridge. London 1894. S. 86, Fig. 50.
[20]) Barkhausen, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 544, Fig. 72.
[21]) J. E. Tuit, S. 92, Fig. 63.

plattenabdeckung eine sehr grofse seitliche Steifigkeit. Bei den Aufsenöffnungen wurde von der Anordnung eines eigentlichen Windverbandes abgesehen und die steife Durchbildung der Fahrbahntafel genügend wirksam erachtet.

Ausrüstung mit Maschinen und Betrieb der Brücke. Während bestimmter, von den Behörden festgesetzter Zeiten mufs die Brücke dauernd geöffnet bleiben. Das Öffnen und Schliefsen der Klappen (bei 914 mm Randgeschwindigkeit derselben), sowie die Durchfahrt eines Schiffes benötigt je 1 Minute, sodafs die Störung des Strafsenverkehrs, einschliefslich Leeren der Klappen, für 1 Schiff 5 Minuten dauern wird. Der Schiffsverkehr hat vor dem Strafsenverkehr stets den Vorzug.

Die ganze Maschinenausstattung, einschliefslich Kesselanlage, Pumpen, Leitungen, Druckwassersammler u. s. w. ist doppelt vorhanden. Die Dampfpumpmaschine für den Antrieb der mittels Wasserdruckes wirkenden Bewegungsmaschinen sind wagrechte Tandem-Verbundmaschinen von 360 Pferdekräften. Der zweite Maschinensatz läuft immer leer, damit er in jedem Augenblick, auch während des Ganges, eingeschaltet werden kann. Die Steuerung der Brücke erfolgt zweifach: 1. mittels Hebel durch den Brückenwärter, und 2. selbstthätig, um Unfällen infolge von Irrungen des letzteren vorzubeugen. Überdies sind Druckwasserpuffer thätig, ähnlich wie sie sich bei 100 t-Geschützen mit 1,22 m Rücklauf bewährt hatten; von deren Leistungsfähigkeit wird jedoch, bei 1524 mm/Sekunden Randgeschwindigkeit der Klappen, nur $^1/_5$ ausgenutzt.

An jedem Ende der beiden Brückenpfeiler befinden sich Wärterstuben, von welchen aus die Steuerung der Klappbrücken bethätigt wird und in denen die Wärter durch selbstthätig wirkende Vorrichtungen Kenntnis erhalten: 1. Von der Klappenstellung, 2. von der Geschwindigkeit und dem Gang der Antriebsmaschine, 3. von der Stellung der Druckwassersammler und 4. von der Stellung der 4 Brückenriegel in der Brückenmitte. Vor der Öffnung der Brücke wird in den Pfeilertürmen die Strafse mittels einer Kette durch einen Polizeimann gesperrt; erst wenn die Kette in einen Haken eingehängt ist, kann der Hahn geöffnet werden, der Druckwasser zu einem Spanncylinder für die Kette zuläfst, wodurch allein die Steuerhebel in den 4 Wärterstuben entriegelt werden. Nachts wird die Brückenstellung durch besondere Lampen kenntlich gemacht. Da die Hauptwelle nur rollende Reibung zu überwinden hat, infolge der früher beschriebenen Anordnung der Rollenlager, sind die Widerstände beim Öffnen der Brücke sehr gering; bei einem Winddruck von 273 kg/qm, der einer Kraft von 142 t mit 17 m Hebellänge wirkend entspricht, können die Maschinen den erzeugten Widerstand noch in 1 Minute bewältigen; auch die Aufhebung der lebendigen Kraft am Schlusse der Bewegung erfolgt mit geringem Kraftaufwand.

4 Kessel von 2,3 m Durchmesser und je 9,14 m Länge sind in einem Gewölbe in der südlichen Zufahrt aufgestellt; in einer anderen befinden sich die Kohlenlager, durch ein Schmalspurgeleise mit dem Ufer verbunden. Zwei weitere Gewölbe enthalten die Pumpen, deren jede 2 Hochdruckcylinder von 482 mm und 2 Niederdruckcylinder von 940 mm Durchmesser und 965 mm Hub besitzt. Die Taucherkolben dieser Pumpen haben denselben Hub bei 197 mm Durchmesser. In einem besonderen Gebäude, auf der einen Seite dieser Zufahrt, steht das Haus für die Druckluftsammler von 508 mm Durchmesser und 49 bis 56 Atm. Spannung. Von hier aus wird das Druckwasser durch 2 Leitungen von je 152 mm Durchmesser zum südlichen Pfeilerturm und von hier unter der Fufsgängerbrücke bis zu den hydraulischen Maschinen des nördlichen Pfeilerturmes geleitet; die Abwasser werden aus Gründen der Sparsamkeit, da die Benutzung des Themse-

wassers nicht statthaft ist, durch eine Leitung von 178 mm Lichtweite in das Kraftsammlerhaus zurückgeleitet.

Maschinelle Anordnung in einem der Zwischenpfeiler. Zwei völlig getrennte Maschinen, je eine in jedem der beiden Pfeilerköpfe, setzen die Hauptwelle mittels der Zahnbögen in Bewegung. Von diesen beiden Maschinen, von denen jede 2 Cylinder von 305 mm Hub und 190 mm Durchmesser des einen und 216 mm des anderen Cylinders besitzt, wird meistens nur die eine unter Druckwasser gestellt, alle beide gleichzeitig nur bei starkem Wind. Für die auf den Zahnbogen zu übertragende Kraft zur Überwindung aller Reibungswiderstände bei einem gröfsten Winddruck von 273 kg/qm genügen 190 t. In jedem Pfeilerkopf ist unter der Maschine zur Druckausgleichung je ein Kraftsammler (559 mm Durchmesser) aufgestellt; durch eine auf dem Boden des kurzen Trägerarmes geführte Leitung sind letztere miteinander verbunden.

Personenaufzüge in den Pfeilern. In jedem Pfeilerkopf sind, von aufsen zugänglich, zwei mittels Wasserdruckes betriebene Aufzüge mit Fassungsräumen von (4,27 m lang, 1,67 m breit und 2,74 m hoch =) 19,5 cbm Inhalt, die durch 4 Drahtseile von 32 mm und 2 Drahtseile von 23 mm Durchmesser geführt werden. Alle Seile laufen über Seilscheiben von 1,30 m Durchmesser, wobei die 2 dünneren das Bleigegengewicht für die leeren Kabinen tragen, die 4 stärkeren über Flaschenzugscheiben von 914 mm Durchmesser geben, die mit den 254 mm starken, lotrechten Kolben der Druckwassercylinder verbunden sind. In einer Stunde können 25 Hübe von 33,5 m ausgeführt werden.

Massen, Kosten und Allgemeines. Für den vollständigen Bau, 800 m lang, bei einer gröfsten Turmhöhe von 89,3 m über der Gründungslagerfläche, wurden verbraucht: 6650 cbm Granit und Haustein, 21600 t Cement, 53500 cbm Beton, 31 Mill. Backsteine, 14450 t Eisen, Flufseisen, Stahl und Gufs und 590 t Blei.

Die Kosten betrugen (nach Barkhausen):

End- und Zwischenpfeiler bis 1,22 m über Hochwasser	2650000 M.
Nordrampe, einschliefslich Ankerträger	1065000 „
Gufseisengeländer der Nordrampe	113000 „
Südrampe, einschliefslich Ankerträger	774000 „
Druckwassermaschinen-Anlage	1720000 „
Eisen und Stahl des Überbaues	6810000 „
Mauerwerk der Pfeilertürme von 1,22 m über dem Hochwasser aufwärts	3020000 „
Pflasterung und Beleuchtung	612000 „
insgesamt	16764000 M.,

oder 21000 M. für 1 m Bauwerkslänge.

Die Betriebskosten wurden wie folgt veranschlagt: Maschinenbetrieb, einschliefslich 2 Brückenmeister für Tag- und Nachtdienst, 2 Maschinisten, 2 Heizer, 4 Brückenarbeiter und die Bedienung für die Aufzüge einschliefslich Kohlen und Verbrauchsgegenstände 32320 M.; 8 Polizeibeamte 10906 M.; Reinigung, Sprengen und Beleuchtung 12605 M.; Ausbesserung und Anstrich 14140 M.; Entwertung der Maschine (2%) 34400 M.; zusammen 103371 M. Die Brücke wurde im Juni 1894 dem Verkehr übergeben.

Material des eisernen Überbaues (Steel Co. of Scotland). Bruchfestigkeit 4200 bis 4950 kg/qcm bei 20% Dehnung auf 203 mm Länge. Den Stahlüberbau hatte die Firma Sir William Arrol, Glasgow übernommen.

Die Herstellung und der Einbau der Maschine war der Firma Sir William Armstrong, Mitchel & Co., Newcastle-on-Tyne übertragen worden.

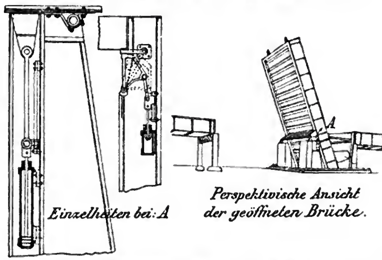
Die Gründung der Mittelpfeiler und des nördlichen Landpfeilers wurde von J. Jackson, die des südlichen Landpfeilers von T. Webster, London ausgeführt.

b. Kippbrücke der Liverpooler Hochbahn [Litt. 1].

Im Februar 1893 wurde in Liverpool eine Hochbahn in Betrieb gesetzt, die in ihrer ganzen Ausdehnung in 4,2 m Lichthöhe über die Strafsenoberfläche geführt ist; in Strafsen, welche einem besonders schweren Verkehr dienen (Marinekesselverschickung u. s. w.) ist diese Höhe ungenügend und wurde ein entsprechender Verkehrslichtraum

durch die **Huddlstone** patentierten Schaukel- oder Kippbrücken (engl. *tilting bridge*, franz. *pont basculant*) gewonnen. Der ungleicharmige Hauptträger geht durchlaufend über zwei Öffnungsfelder; soll die Brücke geöffnet werden (Fig. 63), so dreht sie sich um die Angel des dazwischen liegenden Pfeilers, wobei der kurze Arm, der durch Ballast gegengewichtet ist, in eine Grube hinabsinkt; diese Grube ist zwar ein Übelstand, läfst sich jedoch bei der geringen Höhe der Hauptträger über der Strafse nicht vermeiden, da man mit den Längenabmessungen des kurzen Armes mit Rücksicht auf das Gegengewicht nicht unter gewisse Grenzen gehen kann. Die Bewegung der Brücke geschieht mittels Wasserdruckes mit den aus Fig. 63 (Einzelheiten bei *A*) ersichtlichen Vorrichtungen.

Fig. 63.
Kippbrücke von der Hochbahn in Liverpool.



Die erste Figur zeigt, in welcher Art durch den lotrechten, an dem Zwischenpfeiler befestigten, mittels Wasserdruckes bewegten Kolben die Brücke um die Angel am Kopf des Pfeilers gedreht wird (in Fig. 63 ist die Schlufsstellung der eingedrehten Brücke dargestellt); die zweite Figur stellt die Feststellvorrichtung des kurzen Armes an dessen Ende dar und zwar: mit ausgezogenen Linien die Stellung der Feststellklappe für den festgehaltenen Brückenarm und mit gestrichelten Linien für den zum Niedergehen ausgelösten Brückenarm.

c. Klappbrücke in der Van Buren-Strafse, Chicago (engl. *rolling lift bridge*, *rocking bascule bridge*, franz. *pont levis roulant*), [Litt. 6].

Dieselbe wurde an Stelle einer alten gleicharmigen Drehbrücke erbaut; da der Pfeiler der letzteren sich dem Verkehr sehr hinderlich erwiesen hatte, aufserdem in allernächster Nähe eine Eisenbahnbrücke über den Flufs führt, wurde vom Bau einer Drehbrücke ganz abgesehen und das vorliegende neue Brückensystem (Fig. 64) gewählt, bei welchem die Bewegung der Brücke nur in lotrechter Ebene erfolgt, wodurch der Mindestbedarf an verfügbarer Grundfläche erreicht ist.

Die Brücke setzt sich zusammen aus 2 voneinander vollständig unabhängigen Tragteilen (franz. *bascules*), die auf kreisförmigen Wangen (franz. *flasques*) frei ruhen und in geschlossenem Zustand eine fast wagrechte Fahrbahn bilden; für die freie Durchfahrt der Schiffe können die beiden Hälften in beinahe lotrechte Stellung gebracht werden; siehe die punktierte Stellung in Fig. 64 *a* u. *b*. Die Öffnung der Brücke erfolgt durch Drehung auf kreisförmig gestalteten, untereinander in feste Verbindung gebrachten Schuhen, die auf 3 gufseisernen gezahnten Laufbahnen rollend eine sichere Führung auf vorgeschriebenem Wege erhalten, indem die Zähne (Fig. 65) diese wagrechten Laufbahnen in Aussparungen an der Oberfläche der Schuhe eingreifen; dadurch wird zugleich jedes Gleiten sowohl in Längs- als auch seitlicher Richtung (Wind) verhindert. Die Zähne der Laufbahn wurden an den Auflagerflächen und Kanten gehobelt. Beim Öffnen oder Schliefsen beschreiben alle Teile der Brücke cykloidale Bahnen.

Fig. 64 u. 65. *Klappbrücke in der Van Buren-Strafse zu Chicago.*

Fig. 64.

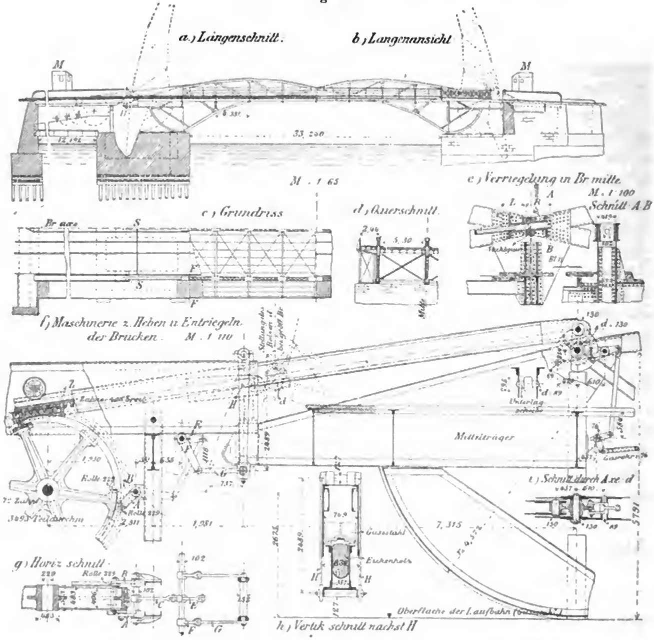
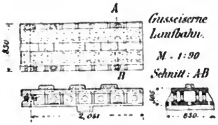


Fig. 65.



Die beiden Widerlager sind ungleich; das westliche ist vom Kai durch einen 12,19 m langen Zwischenraum, der als Unterkunftsraum der Maschinenanlage dieser Hälfte zu dienen hat, getrennt, während das östliche Widerlager in die Kailinie zu liegen kommt und daher aus einem Block gebildet ist. Der nötige Raum für die Maschinenanlage dieser Seite wurde durch Aussparungen im Mauerwerkskörper gewonnen. In beiden Widerlagern sind die Bewegungsmaschinen, Luftpumpen, Luftbehälter und anderen erforderlichen Maschinen unabhängig voneinander angeordnet, sodafs jede Brückenhälfte eine für sich unabhängige Anlage bildet.

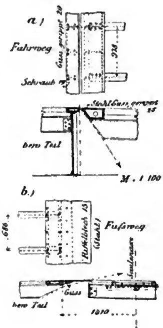
Jeder der 3 Hauptträger einer Brückenhälfte ist als selbständiger Fachwerksträger ausgebildet und unten mit einem Viertelkreisbogen verbunden; letzterer dient als Auflager, ferner aber auch, in Verbindung mit dem rückwärtigen Schwanzstück (für das bei aufgedrehter Brücke im Mauerwerk eine entsprechende Nische ausgespart war, Fig. 64 *a*) unter Mitwirkung des daselbst unter der Fahrbahntafel aufgehängten Ballastes als Gegengewicht für den eigentlichen Brückenarm.

Die Bewegung der Brücke wird durch ein Hebelwerk mit Zahnstangengetriebe herbeigeführt, wobei die Haupttriebstange nicht unmittelbar am Fachwerksträger, sondern mittels eines um eine Axe beweglichen Bügels mit letzterem in Verbindung gebracht ist. Dieser Bügel wird durch ein Hebelwerk in

Thätigkeit gesetzt (Fig. 64 *f*, *i*). Im geschlossenen Zustand sind beide Brückenhälften, um lotrechte elastische Bewegungen bei einseitiger Belastung zu verhindern, durch einen Riegel verbunden, der in Stahlbüchsen geführt ist (Fig. 64 *e*); eine Kraftübertragung durch denselben ist nicht beabsichtigt, wohl aber innerhalb gewisser Grenzen, soll ein für die Brückenunterhaltung schädliches Schlottern des Riegels in der Büchse hintangehalten werden, ganz unvermeidlich.

Die Hauptverriegelung der Brücke in geschlossenem Zustand geschieht wie folgt: Der Bügel *H* umfafst (vergl. Fig. 64 *f* u. *h*) das Schwanzende des kurzen Fachwerkarmes, hält es fest und schafft so eine weitere Stützung für die geschlossene Brücke. Soll die Brücke ausgedreht werden, so wird durch das Hebelwerk (Fig. 64 *f* u. *g*) *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G* der Bügel *H* um seine obere, mit dem festen Teil der Brücke verbundene, wagrechte Axe nach rückwärts gedreht; das Schwanzstück wird frei und die Brücke kann mittels des Zahnstangengetriebes aufgedreht werden. Ein Gleiten der Brücke hierbei ist durch die bereits beschriebenen 3 gezahnten Laufbahnen wirksam verhindert. Die Träger, durch welche die Schwanzstücke ihrerseits festgehalten werden, sind durch sehr kräftige Ankerstäbe, die bis auf den Boden des Mauerwerkes reichen, mit letzterem fest verbunden.

Fig. 66. *Klappbrücke in der Van Buren-Strafse zu Chicago.*



Die Trennung des festen und beweglichen Brückenteiles erfolgt für den Fahrweg nach der Fuge *S S*, für die Fufswege an anderer Stelle längs der Fuge *F F* (Fig. 64 c); dies hat eine verschiedene Bewegung des beweglichen Fahrweg- bezw. Fufswegteiles in Bezug auf den festen Brückenteil zur Folge; in den Fig. 66 *a* (für den Fahrweg) und Fig. 66 *b* (für den Fufsweg) ist diese entgegengesetzt gerichtete Bewegung, sowie die ganze Durchbildung dieser Fugenabschlüsse aus geripptem Stahlblech und hohlen Stahlgufsbüchsen, die sich auf die ganze Brückenbreite erstrecken (für die rechte Brückenhälfte) zur Darstellung gelangt.

Die Brücke selbst wird elektrisch betrieben. Auf jedem der beiden Ufer stehen 2 Dynamomaschinen von je 50 Pferdekräften und sind mit der gemeinsamen Hauptwelle mit vielfacher Übersetzung gekuppelt, sodafs sie einzeln oder nach Bedarf (Wind) gemeinsam wirken. Auf dieser Hauptwelle sitzt auch, an beiden Enden, eine selbstthätige Bremse für den Fall von Störungen in der Maschinenanlage. Prefsluft versorgt die Nebenanlagen der Brücke und wird vom westlichen Widerlager aus, das mit dem östlichen durch unterirdische eiserne Kanäle verbunden ist, den Abschlufsthoren, den die Brückenstellung anzeigenden Signalen und den selbstthätigen Bremsvorrichtungen zugeführt. Die Prefsluft wird durch auf der Hauptwelle sitzende Excenterscheiben mittels Luftpumpen in Behälter gedrückt, und von diesen aus in der beschriebenen Weise den Nebenanlagen zugeleitet.

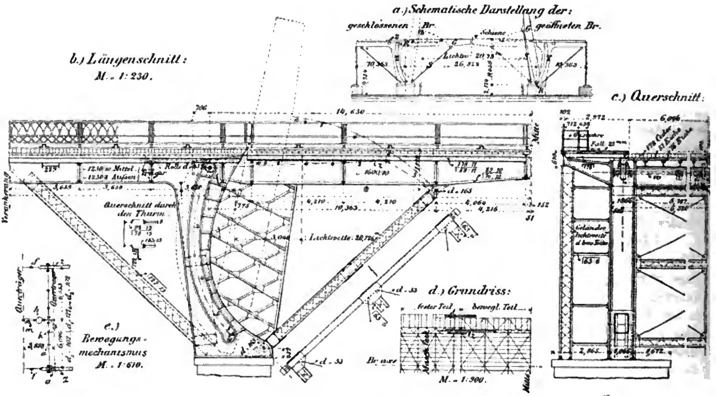
Am Ende jeder Zufahrt befindet sich das Maschinenhaus *M* (Fig. 64 *a* u. *b*), in welches alle elektrischen Kabel und Druckluftleitungen einmünden. Alle Getriebe und Hauptbewegungsteile sind aus Gufsstahl; nur die Speichen und Naben der Zahnräder, sowie die Achslager wurden aus Gufseisen gefertigt. Der ganze Brückenbau wurde innerhalb eines Jahres (Anfang 1894 bis Anfang 1895) ausgeführt und kostete einschliefslich der Zufahrten, Maschinen, elektrischen Ausrüstung, Maschinenhäuser und allem Zubehör 712740 M. (1 Dollar = 4,20 M.), oder bei einer Gesamtlänge von 74 m und 18 m Breite 534 M./qm bezw. 9618 M./m Brückenlänge.

M. Scherzer, der Erfinder dieses Systemes, starb wenige Monate, nachdem es ihm patentiert worden war.

d. Klappbrücke mit wagrechter Schwerpunktslage in der 16. Strafse in Milwaukee (engl. *lift bridge*, franz. *pont levis*) [Litt. 10].

Diese Brücke bildet den Teil eines 1219 m langen und 18,29 m breiten Viaduktes, übersetzt in 11,85 m Höhe über der Wasserlinie den mit Segelschiffen befahrenen Menominee-Kanal und läfst in geöffnetem Zustand einen (nach oben hin unbegrenzten) lichten Raum von 20,73 m Weite frei. Der beiderseits der Brücke gelegenen Dockanlagen halber war der Bau einer Drehbrücke ausgeschlossen. Fig. 67 *a* giebt eine schematische Übersicht der Brücke in geschlossenem und offenem Zustand, aus der am einfachsten die Wirkungsweise der neuen Anordnung sich übersehen läfst.

Fig. 67. *Faltbrücke in der 16. Strafse in Milwaukee.*

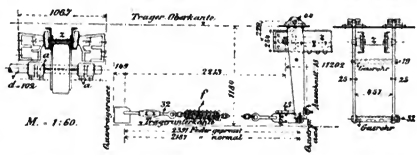


Die wesentlichen Teile jeder Hälfte sind: die Hauptträger G, welche die Fahrbahntafel tragen; die Streben S, welche die Hauptträger gegen die Mitte zu stützen und die Rollen R, die, mit den Hauptträgern unverschieblich verbunden, ihnen eine weitere Stützung bieten, indem sie dieselben auf einer festen Bahn T zwangläufig führen. Hierbei soll diese Bahn T eine solche Krümmung erhalten, dafs der Schwerpunkt des beweglichen Brückenteiles sich von der Brückenmitte gegen die Ufer hin (beim Öffnen) nur in wagrechter Richtung verschiebt und dabei die durch die Rolle R gehende Resultante aus dem Gewicht des beweglichen Teiles G und dem Druck der Strebe S für jede beliebige Stellung des Hauptträgers senkrecht steht auf der Tangente an das zugehörige Kurvenelement der Leitbahn T; dadurch wird erreicht, dafs beim Öffnen und Schliefsen der Brücke der bewegliche Teil stets im Gleichgewicht sich befindet, mithin keinerlei tote Last gehoben, sondern allein die Reibungswiderstände überwunden werden müssen. In der Fig. 67 *b* sind die gleichzeitigen Stellungen des Strebenkopfes und der hinteren Führungsrolle R mit denselben Zahlen bezeichnet. Da selbstverständlich die Bahn T der Führungsrolle R in gesicherter, unverschieblicher Stellung erhalten werden mufs, ist dieser Teil in der in Fig. 67 *a* dargestellten Weise nach rückwärts mit dem Ufer fest verankert.

Wie aus Fig. 67 *d* am deutlichsten zu ersehen ist, besteht jede Brückenhälfte aus einem festen und beweglichen Teil; die Hauptträger beider Teile sind doppelwandig; jedoch sind die Tragrippen beim beweglichen in 0,54 m, beim festen Teil in 1,066 m Entfernung angeordnet, damit ersterer beim Öffnen der Brücke zwischen den Wandungen des letzteren bequem Raum findet. Die Anordnung der Verbindung, sowie Verspannung der 3 Hauptträger in lotrechter und wagrechter Richtung ist aus der Fig. 67 *c* bezw. *d* ersichtlich; deren Teile wurden kräftig ausgeführt. Die Hauptstreben S besitzen einen kastenförmigen Querschnitt und sind oben wie unten mit Gufsstahlgelenken ($d = 165$ mm Durchmesser) versehen.

Bewegungsmechanismus. Zwei Zahnstangen (in den Fig. 67 *a* bis *e* und Fig. 68 mit *z* bezeichnet), deren Querschnittsbildung aus Fig. 68 ersichtlich, die an dem einen Ende im Schwerpunkt des Hauptträgers *G* gelenkig angeschlossen, am anderen Ende über die Rollen der festen Brückenteile geführt sind, werden durch ein Zahnrad wagrecht hin und her bewegt, wodurch die Brücke geöffnet bezw. geschlossen wird. Die bewegende Kraft hierzu liefert die Dynamomaschine *m* (Fig. 67 *e*), die mittels Winkelräderübersetzung und Schraube ohne Ende die Hauptwelle *k* (in der Mitte 127, gegen die Enden 102 mm stark) und damit das Zahnrad antreibt. Im Notfall kann, unabhängig hiervon, der Antrieb von Hand (Fig. 67 *e*) durch einfache Kurbeln *h* geleistet werden. Um beim Schlieſsen der Brücke Stoſswirkungen abzuschwächen, im Falle die Maschine nicht rechtzeitig abgestellt wurde, ist mit dem Zahngestänge die Spiralfeder *f* (Fig. 68) derart in Verbindung gebracht, daſs sie bei geschlossener Brücke gespannt ist und dadurch die überschüssige Kraft des Motors aufgesaugt wird.

Fig. 68. *Faltbrücke in der 16. Straſse in Milwaukee.*



Brückentafel. Die Fahrbahntafel ist durchaus 12,19 m breit; die Fuſswege am beweglichen Teil je 1,98 m, am festen um 0,91 m breiter (Fig. 67 *c* u. *d*); der Fahrweg des beweglichen Teiles besteht aus 2 Lagen Hölzern (Steineiche) von 76 bezw. 51 mm Stärke; der Fahrweg des festen Teiles ist mit 178 mm Holzstöcken (virginische Ceder) gepflastert, siehe Fig. 67 *c*.

Der Tragkraftbestimmung wurde für die Fahrbahn 488 kg/qm, für die Fuſswege 391 kg/qm zu Grunde gelegt; auſserdem für die unmittelbar belasteten Teile der Fahrbahntafel ein 16 t-Wagen mit 3,5 m Achsentfernung vorausgesetzt. Die Bruchfestigkeit des zum Überbau verwendeten Materiales liegt zwischen 3950 und 4430 kg/qcm. Die Länge des beweglichen Fahrbahnteiles beträgt 12,80 m, von denen jedoch bei geöffneter Brücke nur 6,10 m die Fahrbahntafel der festen Brücke überragen und dem Winde erheblich ausgesetzt sind. Das Gewicht jedes beweglichen Teiles beträgt 60 t. Bei gewöhnlichem Wetter werden bei 20 Ampère Stromstärke und 414 Volt Spannung, also 11 Pferdekräften, zum Öffnen 15 Sekunden, zum Schlieſsen 20 Sekunden benötigt, durchschnittlich 30 Sekunden, innerhalb welcher Zeit die Brücke auch durch Handbetrieb von 2 Männern geöffnet oder geschlossen werden kann. Gesamtkosten 176 400 M.

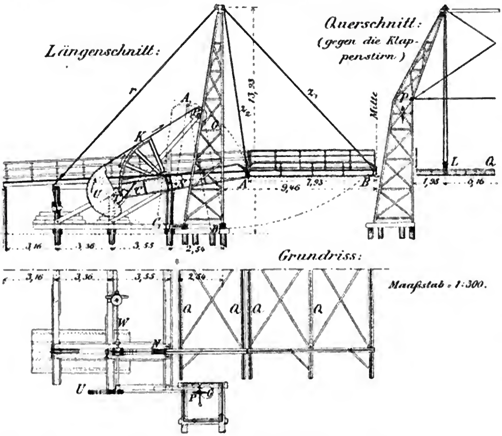
Als Vorteile werden angegeben: 1. Zulässigkeit schwerer, gediegener Fahrbahntafeln, da keine oder sehr wenig tote Last zu heben ist. 2. Geringe Winddruckkräfte sind während der Bewegung zu bekämpfen. 3. Geringe elastische Bewegung in der Brückenmitte infolge Anordnung der Hauptstreben. 4. Absperrung der Straſsenenden durch die geöffnete Brücke selbst. 5. Wegfall der den Verkehr störenden Mittelpfeiler wie bei den Drehbrücken. 6. Wegfall der überflüssigen, die Aussicht versperrenden Turmbauten (bei den neueren amerikanischen Hubbrücken).

e. Klapp(Faltenzug-)brücke über den Chicago-Fluſs in Chicago (engl. *folding floor draw-bridge, folding bridge,* franz. *pont pliant*), [Litt. 4].

Die Ufer des Chicago-Flusses wurden durch eine 45,75 m lange hölzerne Straſsenbrücke verbunden, in die ein 18,9 m weiter Schiffsdurchlaſs durch eine in Fig. 69 dargestellte, vollständig neue Anordnung einer beweglichen Brücke nach den Angaben W. Haarmann's, des Erfinders dieses Systems, eingebaut wurde. Die Brücke besteht aus im wesentlichen symmetrischen Hälften. *BAC* kennzeichnet die Stellung einer solchen Brückenhälfte in geschlossener, $B_1\,A_1\,C_1$ (punktiert) in geöffneter Stellung. Die beiden Klappen *BA* und *AC* sind bei *A* gelenkförmig verbunden und auſserdem die Hinter-

klappe $A\,C$ um die feste, wagrechte Axe N drehbar. Bei geschlossener Brücke werden die beiden Klappen $B\,A$ durch das Zugseil Z_1 (32 mm Durchmesser), $A\,C$ durch das Zugseil Z_2 ($33^1/_2$ mm) gehalten, welche Seile ihrerseits am oberen Ende des eisernen Gitterpfeilers befestigt sind; die Oberteile des letzteren neigen sich (Fig. 69, Querschnitt) so weit gegen Brückenlängsaxe, daſs die Hängeseile in lotrechten, zu den Klappenlängsträgern parallelen Ebenen geführt werden können; in der Uferrichtung ist der eiserne Gerüstpfeiler mittels 45 mm starker Seile (r) an den lotrechten Pfählen verankert, die, wie aus der Fig. 69 (Längenschnitt) ersichtlich, durch Ballast aus Steinen beschwert sind. Auf den Hinterklappen $A\,C$ sitzen, fest mit ihnen verbunden, fächerförmige Kreisbögen K, die sich in Schlitzen der Fahrbahn bewegen können. Über jeden solchen Bogen legen sich Seile, die einerseits am oberen Kreisbogenende, andererseits an der auf der Welle aufgekeilten Seilrolle T befestigt sind. Durch Drehen der Welle W mittels des Vorgeleges nach rechts (was durch einen Arbeiter geschehen kann) wird die Rolle T nach links gedreht, das Seil wickelt sich von K ab und auf T auf, wobei die Hinterklappe $A\,C$ um die feste Axe N so lange gedreht wird, bis sie schlieſslich in die Stellung $A_1\,C_1$ gelangt ist. Da hierbei die Vorderklappe $A\,B$ mitgenommen wird, kommt das Seil Z_1 in fast lotrechte Stellung und hält die Klappe in der Lage $A_1\,B_1$ fest, während das Seil Z_2 nun schlaff ist. Weil am Beginn der Bewegung der gröſste Kraftaufwand erforderlich ist, hat die auf die Welle W aufgekeilte Scheibe U die sichelförmige Gestalt erhalten. Von der Drehachse aus ist das Seil auf dem Umfang von U entlang liegend zur Stelle P geführt, von der es, infolge der Belastung durch ein Gegengewicht G (in der Zeichnung irrtümlich nicht eingetragen), lotrecht herabhängt; letzteres unterstützt wegen der gewählten sichelartigen Form der Scheibe U während der ganzen Bewegung den am Vorgelege thätigen Arbeiter, und zwar am meisten bei Beginn der Bewegung, da bei dieser Stellung das Gegengewicht mit dem gröſsten Hebelarm wirkt. Die Kosten der vorliegenden Klappbrücke betrugen 65000 M., ausschlieſslich der anschlieſsenden Rampenanlagen. Diese Brücke gab Anlaſs zur Ausführung einer Reihe von eisernen Brücken, deren Anordnung auf demselben Grundgedanken beruht. Vergleiche besonders: Barkhausen, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 1147; auch S. 70 dieses Heftes.

Fig. 69. *Falten-Zugbrücke über den Chicago-Fluſs in Chicago.*

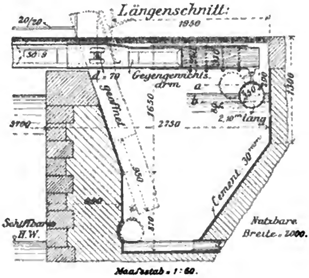


f. Selbstthätige Leinpfad-Klappbrücke des Ost-Kanales in Frankreich [Litt. 9].

Wechselt der Leinpfad öfters die Ufer eines Kanales, so wird die Verbindung vielfach durch kleine Zugbrücken über die Schleusenwandungen hergestellt, die durch ihre emporragenden Pfostenteile den Schiffszug erheblich stören; dieses Verkehrshindernis wird durch die in Fig. 70 dargestellte Anordnung einer kleinen eisernen Klappbrücke, die sich mit dem Wasserspiegel selbstthätig hebt und senkt, behoben.

Fig. 70.

Selbstthätig wirkender Klappsteg über eine Kanalschleuse in Frankreich.



Zwei Blechträger, auf denen eine Brückentafel aus Holz ruht, drehen sich um eine etwas oberhalb des Systemschwerpunktes gelegene wagrechte Axe. Das Übergewicht des kurzen, mit Ballast beschwerten Armes beträgt ungefähr 50 kg und wird durch einen hohlen Eisencylinder, der in der Kammermauer in einem hierfür ausgesparten und mit der Schleuse selbst durch ein Rohr von 0,15 m Durchmesser verbundenen Raum schwimmt, ausgeglichen. Die Wirkungsweise ist aus der Figur ohne weiteres klar. Soll dieses Brückchen jedoch benutzt werden, ohne dafs vorher die Schleuse wieder gefüllt ist, so kann durch Ziehen an einer am Ende des langen Armes angebrachten Kette das kleine Übergewicht des kurzen Armes leicht überwunden und die Brücke geschlossen werden. Bei 200 kg/qm Tragfähigkeit und 2 m nutzbarer Breite stellten sich die Kosten auf 2165 M., einschliefslich der Änderungen am Mauerwerk. Seit 1892 ist die Brücke ohne Betriebsstörung im Gebrauch.

Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellennachweis).

Klapp-, Schaukel- und Faltbrücken betreffend.

1. *The Liverpool overhead railway (tilting bridges). Engineering 1891 II, S. 714, mit Abb. In diesem längeren Aufsatz werden sämtliche beweglichen Brücken der Liverpooler Hochbahn eingehend behandelt; die gleichfalls als „tilting bridge" bezeichnete, ebendaselbst auf S. 741 besprochene neuartige Verbindung des Dreh- mit dem Zugbrückensysteme wurde jedoch im vorliegenden Heft erst unter die „Hub- und Zugbrücken" eingereiht, siehe S. 73.

G. Richou, Chemin de fer aérien de Liverpool. Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 249, mit Abb. und Taf. 17.

2. *Die Tower-Brücke in London. The Tower bridge, Engineer 1891 I, S. 296, 300, 488, 492. Ebendaselbst 1892 I, S. 125, 156.

Fondations du pont de la tour de Londres. Génie civil 1893/94, Bd. 24, S. 25, mit Abb. und Taf. 2.

The Tower bridge. Engineering 1894 I, S. 382, 417, 448, 471, 852, mit Abb. und 3 Doppeltafeln (schöne Schaubilder der Brücke in geschlossenem und geöffnetem Zustand).

Pont de tour à Londres. Nouv. annales de la constr. 1894, S. 113, mit Taf. 33/34 (fondations); S. 161, 177, mit Abb. und Taf. 45/46, 47/48 u. 51/52 (superstructure).

Barkhausen, Die neue Brücke über die Themse in London. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 410, 514 u. 544, mit 73 Abb. Giebt die erschöpfendste deutsche Beschreibung dieses Bauwerkes und enthält auch das wesentliche seiner Vorgeschichte, sowie Mitteilungen über verschiedene Einzelheiten, die in der englischen Litteratur nicht veröffentlicht sind.

Fr. Eiselen, Die Tower-Brücke in London. Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 57 u. 73, mit Abb.

J. E. Tuit, The Tower bridge, 1894, London (Office of Engineer). 106 Seiten, mit 6 Taf. und vielen Abb. Der Verfasser dieser Monographie, leitender Ingenieur bei der Unternehmerfirma William Arrol & Co., die den stählernen Überbau ausführte, hat durch deren Abfassung dem eingehenden Studium der Geschichte und Bauausführung dieser Brücke sehr dankenswerte Quellen erschlossen.

3. Klappbrücke in Rotterdam. Sammlung von Zeichnungen für Die Hütte 1891, Bl. 2, ohne Text. Giebt die Darstellung (Mafsstab = 1 : 40) einer 8,24 m breiten, doppelten Klappbrücke für Strafsenverkehr, deren Fahrweg 5,54 m breit, mit Holz gepflastert, deren Fufswege einfach bedielt sind. Die lichte Durchfahrtsweite beträgt beiläufig 13,6 m. Jeder Klappenarm setzt sich aus 6 ungleicharmigen, 13,44 m (= 4,64 + 8,80 m) langen, vollwandigen Blechträgern mit geradem Ober- und flach gekrümmtem Untergurt zusammen. Der Antrieb erfolgt durch 2 an den Enden der durchlaufenden Hauptwelle, auf der die 6 Hauptträger einer Klappe (die beiden Klappen bewegen sich voneinander unabhängig) aufgekeilt sind, befindliche, um eine wagrechte Achse oscillierende Dampfcylinder, deren Kolben unmittelbar mittels Kurbeln die Drehnng der Hauptwelle und damit das Auf- und Zuklappen der Klappenarme bewirken. Bei geschlossener Brücke sind die Klappen sowohl im Scheitel, als auch (soweit aus der unvollständigen Zeichnung entnommen werden kann) an den Widerlagern durch wagrecht verschiebliche Bolzen verriegelt. Bemerkenswert an dieser kleinen Brücke ist nur der bei Klappbrücken wenig übliche Betrieb mittels Dampfkraft, sowie der unvermittelte Antrieb der Hauptwelle durch die 1,10 m lange Kurbel von den beiden Dampfcylindern aus.

4. *A folding-floor draw bridge. Engineering News 1891 I, S. 487, mit Abb.

Folding bridge over the Chicago river. Engineering 1891 II, S. 84 u. 91, mit Abb.

Klappbrücke über den Chicago-Flufs in Chicago. Centralbl. d. Bauverw. 1892, S. 116, mit Abb.

Pont pliant du canal street, Chicago. Génie civil 1893/94, Bd. 24, S. 337, mit Abb. Erfinder W. Haarmann.

5. Die neue Falten-Zugbrücke in Chicago. W. Ritter, Schweiz. Bauz. 1893, Bd. 22, S. 86, mit Abb. Bespricht eine Brücke nach dem angeführten System Haarmann, die 10 m hohe, eiserne Portale (Pfeilergerüste) besitzt; der Antrieb erfolgt für jede Brückenhälfte durch eine 10 pferdige Dampfmaschine, die Galle'sche Ketten antreibt. Der Verfasser hebt die Vorteile dieses neuen Systemes, die in dem kleinen Arbeitsaufwand, im Vergleich zu den früheren Zugbrücken (für vorliegende Brücke 1 Pferdekraft, bei Windstille), sowie in der kleineren, dem Wind ausgesetzten Fläche der gefalteten Tafel zu suchen seien, hervor, vermifst aber eine genügende seitliche Steifigkeit der geschlossenen Brücke und fürchtet eine rasche Abnutzung einzelner Teile.

6. *Klappbrücke über den Chicago-Flufs im Zuge der Van Buren-Strafse in Chicago. Landsberg, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 863, mit Abb. u. Taf. 18. Dieser Aufsatz enthält aufser der Beschreibung dieses neuen Brückensystemes auch eine kurze theoretische Betrachtung über dessen Wirkungsweise während der Rollenbewegung. (Die Vermutung des Verfassers, als ob die Klappe (Hauptfachwerkträger) für die Verkehrslast als Bogenträger mit drei Gelenken berechnet sei, ist, wie später erfolgte Veröffentlichungen ergaben, nicht zutreffend, sodafs allerdings durch die elastischen Bewegungen des Brückenscheitels bei unsymmetrischer Verkehrsbelastung eine statische Unbestimmtheit in das Tragsystem kommt.)

A rocking bascule. Railroad Gaz. 1893, S. 762, Ebendaselbst 1895, S. 99, 119 u. 565, mit Abb., sowie verschiedenen Einzelheiten der Brücke, die in den übrigen Veröffentlichungen über diesen Gegenstand nicht enthalten sind. S. 565 wird über einen Unfall (August 1895) berichtet, der infolge des Versagens der Maschine eintrat und die Brücke zwar nicht beschädigte, aber einem Dreimaster die Masten kostete.

P. Basquin, Pont levis électrique de la Van Buren street, Chicago. Génie civil 1894/95, Bd. 26, S. 337, mit Abb. u. Taf. 22.

The Van Buren street rolling lift bridge. Engineering News 1895 I, S. 114, m. Abb. u. Taf.

Lift bridge at Van Buren street, Chicago. Engineering 1895 II, S. 92 u. 159, mit Abb. und 2 Doppeltafeln. Sehr eingehende Darstellung; enthält auch ein Spannungsnetz der Hauptträger.

Engineering record 1895, Bd. 31, S. 77, mit Abb.

7. Klappbrücke nach dem System J. Hase. A. Rexhausen, Stahl und Eisen 1894 II, S. 1009, mit Abb. Das eingehend besprochene System eignet sich nur für ganz kleine Stützweiten; daher als Ladebrücken für unmittelbare Verladung von Massengütern in Bahnwagen und Schiffe, wohl auch für Überbrückung kleiner Schiffahrtskanäle anwendbar.

Ein neues System von Klappbrücken. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1894, S. 258, mit Abb.

8. Mitteilungen von einer Studienreise nach den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika (Faltbrücken). Barkhausen, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 1147, mit Abb. und Taf. 22. Behandelt in eingehender Weise von theoretischem und praktischem Gesichtspunkt aus das System der Faltbrücke, dessen Ausgangspunkt in der auf S. 68, Fig. 69 dieses Heftes dargestellten Brücke zu suchen ist. Es werden ausführlich die Beziehungen entwickelt, die zwischen den Klappenlängen, der Aufhängungshöhe, der Lage des Drehpunktes, sowie der des Aufhängepunktes zweckmäfsig zu wählen sind, um einen Schwerpunktsweg des ganzen Systemes zu erhalten, der sich der wagrechten Geraden möglichst anschmiegt, wodurch der zur Bewegung der Brücke erforderliche Arbeitsaufwand am kleinsten wird. Ferner wird nachgewiesen, dafs die Faltbrücken den gewöhnlichen Klappbrücken vorzuziehen seien, weil: 1. die Stützen wegen der Aufhängung der Vorderkante des mittleren Klappenarmes schubfrei, 2. die dem Winddruck gebotenen Flächen verriegelt, 3. kleinere Gegengewichte benötigt werden und 4. wegen der geringen zu leistenden Arbeit nur schwache Bewegungsmaschinen erforderlich sind. Schliefslich werden 2 ausgeführte Faltbrücken näher beschrieben; die eine, die Kanalstrafsenbrücke in Chicago, besitzt bei 10,56 m Breite zwischen den Geländerholmen und 6,4 m Hauptträgerentfernung eine lichte Durchfahrtsweite von beiläufig 24 m; die andere, die Faltbrücke im Holtonstrafsen-Viadukt in Milwaukee bei 13,41 m Breite und 7,95 m Hauptträgerentfernung eine Durchfahrtsweite von 21 m. Angaben über Kosten und Gewichte dieser Brücken sind nicht gemacht.

9. *Passerelle de halage à bascule se mouvante automatiquement sur le canal de l'Est. M. Roussel, Ann. des ponts et chaussées 1894 II, S. 39, mit Tafel.

Passerelle de halage à bascule automatique. Génie civil 1894/95, Bd. 26, S. 38, mit Taf. 3.

Ziegler, Selbstthätige Leinpfad-Klappbrücke des Ost-Kanales in Frankreich. Centralbl. d. Bauverw. 1895, S. 354, mit Abb.

M. Roussel, Passerelle de halage à bascule etc. Nouv. annales de la constr. 1895, S. 22, mit Abb.

10. *Pont levis du viaduc de la 16. rue, Milwaukee. Génie civil 1894/95, Bd. 26, S. 369, mit Taf. 24.

The lift bridge of the 16. street viaduct, Milwaukee. Engineering News 1895 I, S. 146, mit Abb. und Tafel.

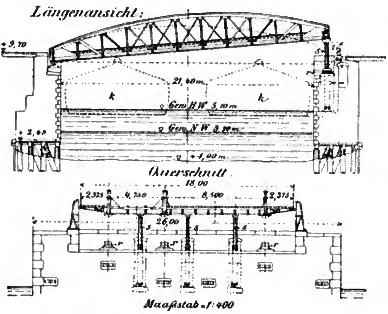
16. street lift bridge, Milwaukee. Railroad Gaz. 1895, S. 649, mit Abb.

G. Barkhausen, Klappbrücke mit wagrechtem Schwerpunktswege. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1896, S. 805, mit Abb. Dieser Aufsatz enthält eine ausführliche Beschreibung und kritische Besprechung dieser Brücke, sowie die zeichnerische und rechnerische Lösung der grundlegenden Aufgabe dieses Systemes: die Leitlinie für die hintere Rolle des Klappenarmes zu bestimmen unter der Bedingung, dafs der Gesamtschwerpunkt aus dem Gewichte der Hauptträger und der Fahrbahntafel in wagrechter Geraden sich bewege und dabei der Rollendruck (aus dem Gewicht des beweglichen Brückenteiles und der Hauptstrebe) für jede Brückenstellung senkrecht auf die zu bestimmende Leitlinie stehe.

III. Hub- und Zugbrücken.

Die unter dieser Bezeichnung in den letzten 8 bis 10 Jahren erbauten Brücken haben bezüglich ihrer ganzen Anordnung mit den früheren Brücken gleichen Namens nicht viel mehr gemein; da überdies deren Ausführungen wenig zahlreich sind, erscheint eine weitergehende Gliederung nach Ländern oder besonderen Eigentümlichkeiten nicht weiter erforderlich.

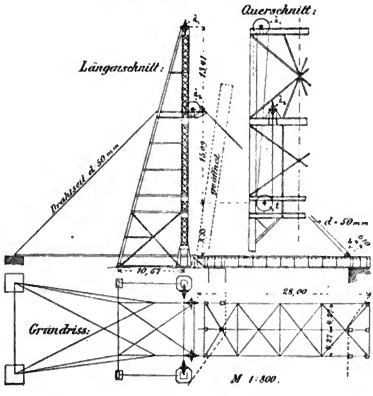
Fig. 71. *Hubbrücke in Hamburg.*



a. Hubbrücke in Hamburg.

Da es sich bei der Verbindung des See-Segelschiffhafens mit dem Oberländerhafen beim Verkehr der Oberländerkähne *k* nur um den Wasserhöhenunterschied zwischen Ebbe und Flut, d. i. ungefähr 2 m, handelt, wurde die in Fig. 71 dargestellte einseitige Hubbrücke hergestellt, deren bewegliches Ende, wenn die Brücke angehoben werden soll, auf den Wasserdruckcylindern *s* ruht, aber während des Verkehres über die Brücke selbst auf gewöhnlichen Rollstühlen *r* aufgelagert ist. Die beim Niedergehen der Brücke aufgewendete Arbeit wird, um eine besondere Bewegungsmaschine entbehrlich zu machen, zum Teil wiedergewonnen und im Kraftsammler aufgespeichert, sodaſs durch eine kleine Handpumpe nur die tagsüber entstehenden Wasserverluste durch Hochpumpen des Kraftsammlers ersetzt werden müssen.

Fig. 72. *Eisenbahn-Zugbrücke über den Harlem-Fluſs in New-York.*



b. Zweigeleisige Eisenbahn-Zugbrücke über den Harlem-Fluſs, New-York [Litt. 6].

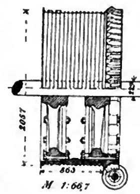
Der Verkehr über diese, in der 135. Straſse und 4. Avenue gelegene Brücke ist ganz auſsergewöhnlich stark. Eine beträchtliche Beschädigung des Drehpfeiles der bestehenden Drehbrücke da-





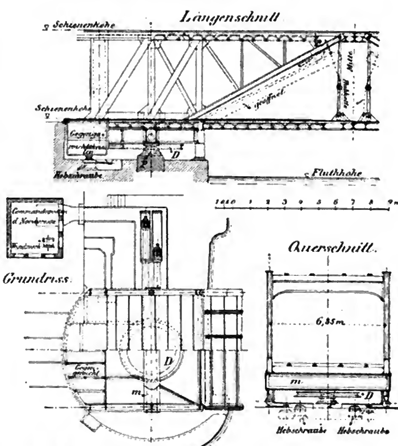
selbst durch einen anfahrenden Dampfer (1892) gab Veranlassung, die in Fig. 72 dargestellte Zugbrücke auszuführen. Die ganze Anordnung besteht aus einem Drehturm, einer zweigeleisigen vollwandigen Blechträgerbrücke von 28,19 m Länge und 8,54 m Hauptträgerentfernung, die an ihrem einen Ende sich um wagrechte Axen von 209 mm Durchmesser und 940 mm Länge am Fufse des festen Fachwerkturmes (38,94 m hoch) drehen läfst, dem Zugseil- und Rollensystem und der im Turm befindlichen, zugleich als Gegengewicht dienenden zweicylindrigen wagrechten Hubmaschine. Die Scheibe a am Aufsenende des Blechträgers (610 mm Durchmesser) dient zur Ausgleichung des Kabelzuges; die übrigen Scheiben von 2,06 m Durchmesser (d_2, t u. d_1 in Fig. 72) sind zur Aufnahme der Kabel mit Rillen versehen und aus alten Lokomotivrädern (Fig. 73) gefertigt.

Fig. 73. *Eisenbahn-Zugbrücke über den Harlem-Flufs in New-York.*



Neu und eigenartig ist die Anordnung der Gegengewichte in den beiden vorderen lotrechten Säulen des Turmes. Jedes dieser Gegengewichte setzt sich zusammen aus 23 voneinander unabhängig im Innern der Turmsäule an Haken aufgehängten Stücken, von denen das unterste allein mit dem Kabel fest verbunden ist; soll die Brücke geöffnet werden, so löst das aufsteigende Kabel mit dem daran befestigten untersten Gegengewichtsstück der Reihe nach alle übrigen aus und bringt sie zur Wirkung; beim Schliefsen der Brücke erfolgt der Vorgang in umgekehrter Reihenfolge: das oberste Gegengewichtsstück hängt sich zuerst in die Turmhaken, dabei aufser Wirkung tretend, bis schliefslich am Kabel nur noch das unterste Gegengewichtsstück allein hängt. Um während dieses Vorganges alle Stofswirkungen unschädlich zu machen, sind sämtliche einzelnen Gewichte mit Kautschukpuffern ausgestattet. Erforderliche Zeit zum Öffnen 1 Min. 20 Sek. Die Brücke wurde mit den verschiedensten Geschwindigkeiten niedergelassen, ohne dafs sich dabei erhebliche Stofswirkungen zeigten. Das Eisengewicht ist mit 90 t, die Gesamtkosten mit 168000 M. angegeben.

Fig. 74. *Doppel-Drehbrücke mit Zugbrücken in der Hochbahn zu Liverpool.*



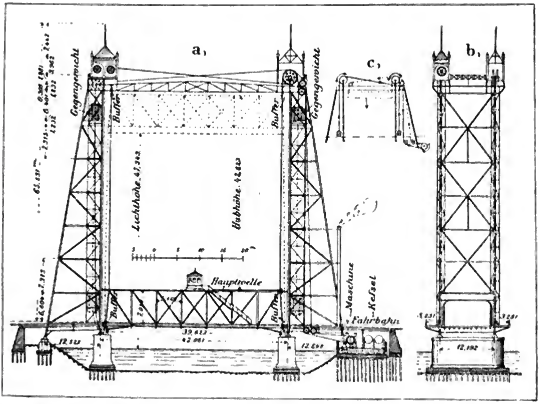
c. Die Doppel-Drehbrücke in Verbindung mit Zugbrücken der Liverpooler Hochbahn am Eingang des Stanley-Docks [Litt. 3]

ist die beachtenswerteste Brücke der S. 62 erwähnten Hochbahn, deren Gesamt-Anordnung der Fig. 74 zu entnehmen ist. Es

war an dieser Stelle aufser der zweigeleisigen Hochbahn auch die zweigeleisige Dockbahn über die Dockmündung zu führen, welch letztere jedoch aus Rücksicht auf den Bahnverkehr nur nachts geöffnet wird. Um die gewöhnlichen Barken in das Dock einlassen zu können, wurden die Dockgeleise mittels Zugbrücken übergeleitet, welche geöffnet werden können (siehe die punktierte Stellung in Fig. 74), ohne dabei den Hochbahnverkehr zu stören. Die zu diesem Zwecke getroffene Anordnung (in der Hauptsache aus der Fig. 74 ersichtlich) ist folgende: Das Aufziehen und Niederlassen der Klappen erfolgt mittels Wasserdruckes durch Ketten, die unterhalb der Fahrbahntafel der Hochbahn zu den im Schwanzstück des kurzen Gegengewichtes der eigentlichen Drehbrücke befindlichen, lotrecht angeordneten Druckwasser-Pressen (in Fig. 74 punktiert angedeutet) geführt sind.

Die Drehbrückenhälften ruhen in eingedrehter Stellung auf 2 Auflagerpunkten, vorn auf Mauerkappen am Uferrand, hinten auf gleitenden Blockträgern unterhalb der Gegengewichtskästen. Soll die Brücke gedreht werden, so wird das Gewicht derselben durch das lotrechte Anheben mittels Druckwassers betriebener Winden (in Fig. 74 mit Hebschraube bezeichnet) aufgenommen; nun werden die hinteren Blockträger zurückgezogen, worauf die Winden so lange sinken, bis die Brücke auf dem festen Königsstuhl *P* aufsitzt; infolge fortgesetzten Senkens der Windenkolben kantet der ganze Brückenträger um den Königsstuhl *P*, wodurch am Schwanzende die Laufrollen zum Tragen gelangen (siehe Fig. 74, Querschnitt) und die Brücke, da sie sich inzwischen von den Auflagern am Widerlagerrand abgehoben hat, ungehindert ausgedreht werden kann; die bereits erwähnten Laufrollen werden hierbei auf eiserner Bahn geführt. Das Ausdrehen der Brücke erfolgt dann mittels der beiden senkrecht zur Brückenbahn angeordneten Druckwasser-Pressen und der wagrechten Trommel *D*, wobei die Drehung jeder Brückenhälfte unabhängig von der anderen erfolgt. Die Aufstellung dieser Brücke war wegen der knapp bemessenen Zeit, da der Dockverkehr nicht gestört werden durfte, sehr schwierig. Angaben über Gewichte und Kosten sind nicht gemacht.

Fig. 75. *Hubbrücke in der Süd-Halsted-Strafse in Chicago.*



Bemerkung: Fig. 76 folgt später.

d. Die Hubbrücke über den Chicago-Flufs in der Süd-Halsted-Strafse in Chicago [Litt. 8].

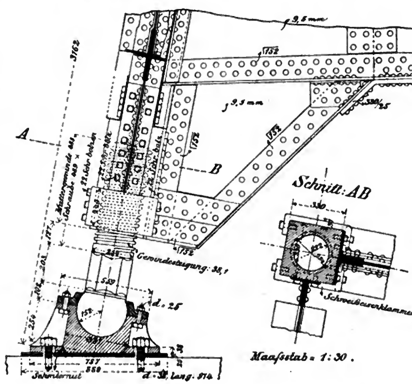
Dieses Bauwerk löst dieselbe Aufgabe, die durch die Anordnung des Mittelfeldes der Tower-Brücke eine Erledigung in wesentlich gröfserem Umfang bereits erfahren hat, in neuer, eigenartiger Weise, wobei das geschaffene Verkehrsprofil 39,62 m Breite und 47,24 m Höhe besitzt (gegen 60,96 m bezw. 43,28 m bei der Tower-Brücke). Die nutzbare Breite verringert sich jedoch noch bei der Halsted Brücke, da die Brückenlängsaxe nicht senkrecht zur Flufsrichtung läuft[22]), während der ganze eiserne Überbau auf rechtwinkelig zur Brückenlängsaxe gestellten Pfeilern ruht.

Die Hauptträger der Brücke bestehen aus einfachen Pratt-Trägern, die lotrecht 42,82 m gehoben werden können. Die Knotenpunkte besitzen die amerikanische Gelenkbolzenanordnung. Bei geschlossener Brücke beträgt die lichte Durchfahrtshöhe für den Kanalverkehr 4,58 m.

An jedem Flufsufer steht ein in den Längs- und Querwandungen fachwerkartig (mit nach europäischer Art genieteten Knotenpunkten) durchgebildeter Stahlturm, der oben zur Aufnahme der Drahtseile mit Rillen versehene Rollen von 3,658 m Durchmesser (aus Stahl und Gufseisen gebildet) trägt. Diese Rollen, über welche die 32 je 39 mm starken Stahldrähte laufen, an denen die Brücke hängt, sind um 305 mm starke Achsen wagrecht drehbar aufgelagert. Am Anschlufs der Drahtseile an die Hauptträger sind je 2 Kabel durch eiserne Klammern verbunden, die mit den Laschen zur Aufnahme des 121 mm starken Tragbolzens in entsprechende Verbindung gebracht sind.[23]) Die Gegengewichte bestehen aus einer Anzahl rechteckiger Gufsscheiben 0,254 × 0,305 m, zusammen 2,62 m hoch, die in dem Fachwerkrahmen (Dreieckausfüllung, in Fig. 75 *a* u. 75 *b* in einfachen Linien dargestellt) auf- und niederbewegt werden. Das Gewicht der Kabel ist für jede Brückenstellung durch eine schmiedeiserne Kette ausgeglichen, deren eines Ende an den Hauptträger, das andere an das Gegengewicht angeschlossen ist.

Fig. 77.

Hubbrücke in der Süd-Halsted-Strafse in Chicago.



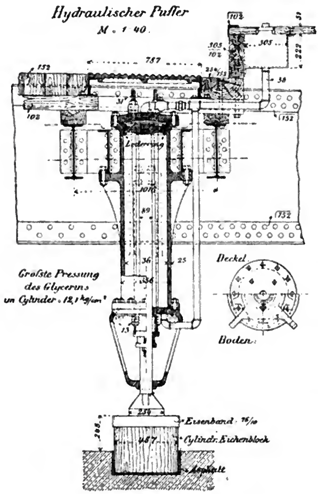
Die Turmhäupter sind durch niedrige Fachwerkträger, die an den Anschlufspunkten fest eingenietet sind, miteinander in Verbindung gebracht, hauptsächlich um die Türme in unveränderlicher Stellung zu halten, dann aber auch zur Auflagerung der Seilgetriebe und zur Herstellung eines Verkehres zwischen den beiden Türmen mittels eines Steges. Die in Fig. 77 dargestellte Stellschraubenanordnung mit Kugelgelenk-

[22]) Engineering 1894 I, Taf.; 5. June, Fig. 2 u. 3. — Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 102/103.

[23]) J. A. L. Waddell, The Halsted street lift bridge. Amer. soc. of civ. eng. 1895, S. 4, Fig. 1.

auflagerung an den unteren Enden der landwärts gelegenen Hauptpfosten der Turmbauten gestattet durch Drehen des an das Kugellager anstofsenden achteckigen Schaftes eine genaue Einstellung der Turmwandungen; sie haben sich als sehr zweckentsprechend erwiesen; es mag erwähnt werden, dafs diese geneigten Wandungen nur die durch Winddruck hervorgerufenen Kräfte aufzunehmen haben; das Gewicht der Brücke tragen die lotrechten, flufswärts gelegenen Wandungen. Gegen Verdrehungen sind die Türme durch ein System von wagrecht liegenden Rahmen reichlich abgesteift. An jedem Turmeck, oben und unten, ist je ein Wasserdruck-Puffer mit Glycerinfüllung (Fig. 78) angebracht, der stark genug ist, um den Stofs der mit gröfster Geschwindigkeit (1,22 m i. d. Sekunde) anlangenden Brücke unschädlich zu machen.

Fig. 78. *Hubbrücke in der Süd-Halsted-Strafse in Chicago.*



Der anzuhebende Träger mit allem, was darauf ist, wiegt 290 t; ebenso schwer ist natürlich das Gegengewicht; hierzu kommen noch 20 t für die bereits erwähnten Gegengewichtsketten, sodafs also das vollständige zu bewegende Gewicht 600 t beträgt. Änderungen der Gewichte durch Schnee, Schmutz, neue Abpflasterung der Fahrwege u. s. w. können durch Einlassen von Wasser in Behälter, die auf der Brückentafel angebracht sind, sowie durch Hinzufügen weiterer kleiner Gewichte auf die Träger bezw. Gegengewichte zu den Hauptgegengewichten entsprechend ausgeglichen werden. Infolge des vollständigen Ausgleiches der Gewichte sind also durch die Maschinenanlage nur die Reibungswiderstände zu überwinden; gleichwohl kann im Notfall auch eine beträchtliche, auf der Brücke befindliche Last mit angehoben werden. Während des Auf- und Niedergehens der Hauptträger erfolgt eine Führung derselben in der Quer- und Längsebene durch Rollen, die an dem Ober- und Untergurt angebracht sind. Die Längsrollen werden dabei durch Federn andauernd an die Führung in den Säulen geprefst und nehmen so an der Längenänderung der Hauptträger teil. Die Querrollen haben bei Wind, sowie beim Anfahren von Schiffen in Thätigkeit zu treten; für letzteren Fall ist auch noch auf die ganze Brückenlänge an der Spitze der beiden Fufswegkragarme eine Art Abweiser aus sehr kräftigen 152 mm Winkeln gebildet; derselbe soll das Takelwerk anfahrender Schiffe abscheren, und hatte auch bereits Gelegenheit, sich als wirksam zu erweisen.

Die Brücke trägt eine doppelgeleisige Strafsenbahn mit kleinster Fahrwegbreite von 10,36 m zwischen den Türmen; die beiden Fufswege besitzen je 2,13 m nutzbare Breite und die Hauptträgerentfernung beträgt 12,19 m. Die Anordnung der Fahr- und Fufswege ist aus Fig. 78 ersichtlich, die Querdielen der letzteren ruhen auf hochkantig gestellten Bohlen, 305 $\times$ 76 mm.

Die oben erwähnten Wasserbehälter fassen 8,61 t Wasser, genügend, um die Brücke in Bewegung zu setzen; auch sind sie durch eine Rohrleitung mit der Dampfmaschine in Verbindung gebracht, um im Winter durch Einlassen von Dampf das Einfrieren hintanhalten zu können.

Abschlufsthore sind an der Brücke nicht angebracht; für die rechtzeitige Absperrung des Verkehres haben Polizeibeamte Sorge zu tragen, die nur die Fahrwege, nicht aber die Fufswege, mit Seilen absperren, eine jedenfalls sehr mangelhafte Anordnung bei einem so kostspieligen Bauwerk.

Das Steuerhäuschen ist im Mittelfach der Hauptträger (Fig. 75) über der Obergurtung angebracht, gestattet den Ausblick nach allen Richtungen und enthält aufser den Signalvorrichtungen nur noch eine eigentümliche, durch Patent geschützte Anordnung *(peeper)*, die dem im Häuschen anwesenden Steuermann angiebt, wann für die Durchfahrt eines ankommenden Schiffes die Brücke genügend angehoben ist, wodurch unnütze Hebearbeit vermieden wird.

Die kürzeste Zeit, innerhalb der die Brücke in die höchste Stellung angehoben wurde (bei 1,22 m gröfster Geschwindigkeit in der Sekunde) betrug 34 Sekunden.

Die Antriebsmaschine wurde in einem 11,35 × 16,15 m grofsen Raum an einem Ufer aufgestellt, sehr gegen den Willen des Erbauers der Brücke, der elektrischen Antrieb geplant hatte und die ganze dazu erforderliche Anlage in ein in einen der Türme gestelltes Haus unterbringen wollte; nachdem er aber zur Anwendung einer Dampfmaschinenanlage genötigt war, hielt er es wegen der Schwingungen, in welche durch eine solche der Turm geraten könnte, für zweckentsprechender, diese aufserhalb desselben aufzustellen.

Sowohl Widerlager, Pfeiler und Maschinenraum wurden auf Pfahlrost gegründet und hierauf die geschlossenen Betonkörper gesetzt; die ersteren mufsten bei der Neigung des Chicago-Flusses, abzubröckeln, mittels schweifseiserner Ankerstäbe ungefähr 12 m nach rückwärts verankert werden.

Einrichtung des Maschinenhauses. Zwei 70pferdige Dampfmaschinen übertragen ihre Kraft auf eine 203 mm starke Hauptwelle, auf welche zwei gufseiserne Seilscheiben (1,83 m) gekeilt sind, über deren Rillen 22,2 mm starke Drahtseile laufen. Durch Drehen dieser Welle in der einen oder anderen Richtung wird die Brücke gehoben oder niedergelassen. Die Maschine ist mit Reibungsbremsen ausgestattet. Die Anordnung der Anhebekabel ist aus Fig. 75 *c* ersichtlich; die äufserste Scheibe rechts unten, mit dem links drehenden Pfeil, stellt die bereits erwähnte Seilscheibe von 1,83 m Durchmesser dar, und entspricht hierbei die eingezeichnete Pfeilrichtung dem Beginn der Brückensenkung. Die Bewegung der Brücke kann aufserdem durch Benutzung der Wasserbehälter im Notfall auch noch mittels eines einfachen Handgetriebes allein oder durch dasselbe in Verbindung mit den Wasserbehältern bethätigt werden.

Sobald die Brücke sich einer der beiden Grenzstellungen nähert, sperrt eine selbstthätig wirkende Vorrichtung den zuströmenden Dampf von der Maschine ab und schützt so die Puffer vor regelmäfsig wiederholter voller Inanspruchnahme.

Grundlagen der Berechnung. Als Verkehrslast wurde für die einzelnen Teile der Fahrbahntafel ein 11 t-Rad mit 1,8 m Wirkungslänge, aufserdem, sowie auch für die Fufswege 489 kg/qm und für die Hauptträger 6,7 t/m der Tragkraftbestimmung zu Grunde gelegt; das Eigengewicht der Hauptträger wurde mit 6,1 t/m für das Meter Brückenlänge und der Winddruck mit 146 kg/qm getroffene Fläche des Bauwerkes in die Rechnung eingeführt. Die gröfsten zulässigen Beanspruchungen wurden für den Druckcylinder nach der Formel $\sigma = \alpha - \beta \frac{l}{r}$ bestimmt, wobei α zwischen 1055 und 1196 kg/qcm und β zwischen 3,94 und 5,27 kg/qcm, je nach der Bearbeitungs- und Einspannungsweise des Gliedes, liegt; l bezeichnet hierbei die Länge des gedrückten Stabes und r dessen Trägheitshalbmesser. Bei Zuggliedern liegen die Grenzen zwischen 703 kg/qcm (bei Gegenständen mit Spannmuttern) und 10,55 kg/qcm. Niete und Gelenkbolzen können bis 703 kg/qcm auf Scherung, 1125 kg/qcm auf Zug und 1406 kg/qcm auf Biegung beansprucht werden. Für das Mauerwerk (sehr guter Sandstein) waren 21,1 kg/qcm und für Beton (Portland-Cement) 10,5 kg/qcm zulässig. Der Laibungsdruck der Wellzapfen betrug nur 42,2 kg/qcm und der Pufferdruck nur 14,1 kg/qcm. Jedes Drahtseil von 38 mm Durchmesser ist mit 8,5 t belastet. Die kleinsten Eisenstärken der Fahrbahnteile betragen 9,5 mm, die aller übrigen 7,9 mm.

Die thatsächlichen Kosten des ganzen Brückenbaues, ausschliefslich des Landanschlusses, betrugen 840000 M. (1 Dollar = 4,20 M.) und überschritten die veranschlagten Kosten ganz wesentlich, teils wegen der wider Erwarten ungünstigen Gründungsarbeiten, teils wegen der gröfseren zur Ausführung gekommenen Turmhöhe u. s. w. Als Vorzüge werden von Waddell, dem Erfinder dieses Systemes, folgende Punkte namhaft gemacht: 1. Kleinster Bedarf an zu überbauender Grundfläche, 2. ungehinderter Verkehr an den unmittelbar anschliefsenden Uferstrecken, 3. um 30% kleinerer Zeitbedarf zum Öffnen der Brücke als bei gleichwertigen Drehbrücken, 4. Zulässigkeit beliebig schwererer Fahrbahntafeln, 5. Ausführbarkeit weit gröfserer Stützweiten als bei Dreh- und anderen beweglichen Brücken und 6. Einfachheit der Maschinenanlage.

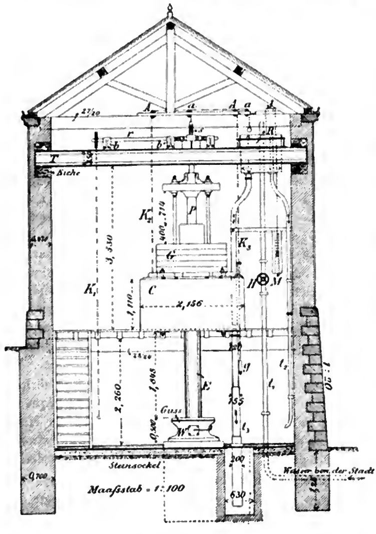
Einige von diesen Punkten sind in dieser allgemeinen Fassung nicht ganz einwandfrei; ein kaum zu beseitigender Nachteil dieses Brückensystemes liegt, besonders wenn der frei zu haltende Verkehrsraum erheblich wird, in dessen äufseren Erscheinung, die mit einem schönen Städtebild schwerlich in Einklang gebracht werden kann.

e. Die Hubbrücke von Larrey (Vorstadt von Dijon) [Litt. 7]

wurde an Stelle einer Steinbrücke, die für die Kanalschiffahrt ein stetes Hindernis gebildet hatte, ausgeführt. Nach langjährigen Studien hatte man aus 5 Entwürfen (3 festen, 1 Drehbrücke und vorliegender Hubbrücke) die letztere zur Ausführung gewählt. Es war eine Brücke mit untenliegenden Trägern bei sehr geringer Konstruktionshöhe über den Kanal (einschliefslich des Leinpfades, 9,8 m breit) unter Vermeidung von Rampen zu führen, die eine zeitweilige Vergröfserung der Lichthöhe (bei gesenkter Brücke und ungehindertem Strafsenverkehr 2,4 m) für die Kanalschiffe um 1,3 m gestattet. Die Brückenbreite beträgt 6,10 m (4,5 m die mit Holzpflaster versehene Fahrbahn und je 0,8 m die Fufswege); die ganze stählerne Brückentafel ist aus äufserst niedrigen (0,540 m bezw. 0,354 m die Hauptträger- und 0,20 m die Querträgerhöhe) Blechträgern zusammengesetzt, wobei die beiden äufseren, unmittelbar unter den Geländern befindlichen Hauptträger höher als der mittlere ausgebildet werden konnten; sie ruht in den 4 Ecken auf Druckwasser-Kolben, die durch Zahngestänge mit lotrechten Zahnstangen von einer allen gemeinsamen Druckwasser-Presse gleichzeitig gehoben und gesenkt werden. Der bewegliche Teil dieses Druckwasser-Kraftsammlers (Fig. 79) setzt sich zusammen aus einem unveränderlichen Gewicht *G* (Gufsscheiben) und einer dieses umschliefsenden eisernen kreisrunden Kufe *C*, die nach Bedarf mit Wasser gefüllt werden kann. Ist diese Kufe leer, so ruht die Brücke infolge ihres gröfseren Gewichtes auf den festen Auflagern (eichenen Querschwellen an beiden Widerlagern); die Druckwasser-Kolben sind dabei nicht druckfrei, aber unfähig, allein die Brücke zu tragen; sie werden jedoch, in später zu besprechender Weise, meistens druckfrei gemacht. Durch Füllen der aus 4 mm dickem Blech gefertigten Kufe mit Wasser wird der Druck im Kraftsammler gesteigert, sodafs nun die Brücke durch Öffnung des Verbindungshahnes der Druckleitung mit dem Druckwasser-Kolben gehoben werden kann. Das erforderliche Mehrgewicht des Kraftsammlers gegen das anzuhebende Gewicht der Brücke einschliefslich der mitzuhebenden beweglichen Teile der Bewegungsvorrichtung beträgt im ungünstigsten Fall 1,5 t; zur Sicherheit wurde der Fassungsraum der Kufe jedoch für 2,4 cbm Wasser bemessen.

Fig. 79.

Kraftsammler von der Hubbrücke in Dijon.



In die Druckleitung ist eine besondere Vorrichtung *(distributeur)* eingeschaltet, die bezweckt, einerseits das vom Kraftsammler kommende Wasser in 4 eiserne Rohrleitungen von 30 mm Durchmesser, die zu den Hebekolben führen, gleichmäfsig zu verteilen, andererseits aber gestattet, jede der letzteren beliebig ausschalten zu können, im Falle sich schadhafte Stellen zeigen, ohne dafs dabei die anderen Leitungen aufsergewöhnlich belastet werden; die Druckleitungen sind überdies mit Manometern versehen, welche jedes Undichtwerden sofort erkenntlich machen. Die Indienststellung des Kraftsammlers *C*, *G* bezw. dessen Anhub an den Druckwassercylinder *E* (in dessen Innerem der Druckwasserkolben sich befindet), um die Hubhöhe von 2 m erfolgt durch eine einstiefelige Druckwasser-Pumpe, die durch einen Mann

leicht bedient werden kann; diese Pumpe dient aber auch zur Entlastung der Druckleitung während der Zeit, in der sich die Brücke in ihrer gewöhnlichen (nicht gehobenen) Stellung befindet, indem das ganze Gewicht des Kraftsammlers an die Eisenträger T unter der Decke des Maschinenhauses aufgehängt wird, wodurch, wie bereits früher erwähnt, auch die Hebekolben in den Brückenecken druckfrei werden und der ganze eiserne Überbau allein auf den 2 Eichenschwellen aufruht. Dies geschieht wie folgt: Der 193,5 mm starke, massive Stahlkolben P verjüngt sich nach oben in einen Cylinder von 110 mm Durchmesser, in dessen oberes Ende ein Schraubengewinde S geschnitten, an dem eine sehr kräftige Schraubenmutter sitzt; durch Ziehen an der Kette K_1 werden mittels der Welle r, in welche rechte und linke Gewinde geschnitten sind, 2 Backen unter die Schraubenmutter geschoben; läfst man nun durch Öffnen eines Hahnes Druckwasser aus dem Kraftsammler ausfliefsen, so kommt die Schraubenmutter zur Wirksamkeit und überträgt das vollständige Belastungsgewicht des Kraftsammlers mittels der Backen auf die Träger T, wodurch das Druckwasser im Prefscylinder spannungslos wird. Um letzteres wieder unter Druck zu setzen, prefst man mittels der oben erwähnten Handpumpe so viel Wasser in den Cylinder des Kraftsammlers, dafs man infolge der dadurch bewirkten kleinen Hebung in der Lage ist, die Lagerbacken der Schraubenmutter mittels der Kette K_1 wieder zurückzuschieben. Die Wasserkufe wird von dem Behälter R (2,1 cbm Fassungsraum) und dieser von der städtischen Leitung durch die Rohrleitung t gespeist; beim Senken der Brücke läuft das Belastungswasser durch das teleskopartig eingerichtete Rohr t_3 in einen Kanal. Der Füllungszustand des Behälters R wird durch einen Schwimmer an der Skala M dem Maschinisten angezeigt.

Die Cylinder der 4 Hebekolben sind aus bestem Gufseisen zweiter Schmelzung, 1,82 m hoch mit 45 mm dicken Wandungen; die gufsstählernen Hebekolben füllen bei 120 mm Durchmesser die Cylinder voll aus, und greifen mit ihren oberen wagrecht abgeschnittenen Kreisflächen unter die an die Brücke befestigten Auflagerbüchsen.

Die Manometer der Druckleitungen zeigen beim Heben 64 kg/qcm, beim Senken 62 kg/qcm Pressung der Druckflüssigkeit, für welche letztere Wasser mit Glycerin gemischt, das Mischungsverhältnis je der Jahreszeit entsprechend, verwendet wird; dasselbe beträgt im allgemeinen $G : W = 30 : 100$, bis $50 : 100$ bei strenger Kälte. Täglich werden ungefähr 10 bis 12 l dieser Flüssigkeit, auf 60 bis 80° C. erwärmt, in die Leitung eingeführt.

Das Gewicht der Brücke einschliefslich der Prefskolben beträgt 28,48 t, das der beweglichen Teile des Kraftsammlers einschliefslich seines Kolbens 17,76 t ($\mu = 0,62$) und das Gewicht des Belastungswassers, um die Brücke aus der Ruhelage zu lösen, 1,08 t. Die Reibungswiderstände stellten sich gröfser heraus, als nach der Rechnung erwartet wurde; es zeigte sich aber auch bei Erneuerung der Liderung, dafs die Druckflüssigkeit teilweise ganz hart war. Der Wasserbedarf für die Kufen beträgt durchschnittlich 10 bis 12 cbm täglich.

Um die Möglichkeit des ungleichen Anhebens in den 4 Ecken der Brücke, sei es infolge verschiedenen Druckes in den Leitungen, sei es aus sonst einem Grunde, ganz auszuschliefsen, sind an jedem Ecke 2 Zahnstangen, die mit dem Mauerwerk fest verbunden sind, angebracht; in diese 8 Zahnstangen greifen 8 Zahnräder von 2,86 mm Teilung, die auf 4 durchlaufenden Hauptwellen von 100 mm Durchmesser an den 4 Seiten der Brücke entlang aufgekeilt sind; durch diese Anordnung ist jeder, bei der geringen Höhe der ganzen Brückenkonstruktion leicht möglichen Verdrehung derselben wirksam begegnet.

Sämtliche Vorrichtungen zur Bewegung der Brücke sind in einem abseits derselben gelegenen, besonders erbauten Maschinenhaus untergebracht, von dem aus die Brücke übersehen und gesteuert wird.

Der Fufsgängerverkehr wird auch über die gehobene Brücke durch 4 besondere Anfgangsstiegen an den Widerlagern aufrecht erhalten. Das Bauwerk macht, soweit aus den Schaubildern ersichtlich, einen gefälligen Eindruck. Die Brücke ist seit Herbst 1890 in Thätigkeit und arbeitet gut; in 5 Sekunden hebt oder senkt sich die Brücke, sodafs der Wagenverkehr bei einem durchfahrenden Schiff nur 1 Minute unterbrochen wird.

Die Kosten der Brücke stellen sich aufserordentlich hoch: Brücke nebst Zufahrt 25 963 M. (hiervon treffen jedoch blofs 5078 M. auf den eisernen Überbau), Kraftsammler 5330 M., Bewegungsvorrichtungen 18 072 M., insgesamt 49 365 M. (1 M. = 0,81 Frs.), das giebt bei einer gesamten Brückenlänge von 22,2 m bei 6,1 m nutzbarer Breite 366 M./qm.

Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellennachweis).

Hub- und Zugbrücken betreffend.

1. Träger mit freischwebenden Stützpunkten. L. Brennecke, Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 123, Fig. 6. Der Verfasser schlägt vor, bei Trägern dieser Art statt des zwischen den Kragarmen eingehängten Mittelfeldes eine Roll- oder Hubbrücke zur Gewinnung eines hohen Durchfahrtprofiles anzuordnen.

2. *Über Hamburgs Entwickelung in seinen Hafen-, Zollanschlufs- und Eisenbahnbauten. Diefenbach, Glaser's Annalen 1890, Bd. 26, S. 218, mit Abb.

3. *The Liverpool overhead railway (tilting bridge). Engineering 1891 II, S. 741, mit Doppeltafel.

G. Richou, Chemin de fer aérien de Liverpool. Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 249, mit Abb. und Taf. 17.

4. Proposed method for operating a vertical lift draw bridge. Charles Steiner, Engineering News 1892 I, S. 652, mit Abb. Bei einer zweiflügeligen Zugbrücke von 76,20 m Gesamtweite soll das Anziehen der Zugketten allein durch Wasserdruck erfolgen, indem in einem wasserdichten lotrechten Blechcylinder ein zweiter, ebenfalls wasserdichter Blechcylinder auf- und abgleitet und damit die Ketten über Rollen aufzieht oder nachläfst; hierbei hat der Plungerquerschnitt 5,25 qm Grundfläche und erreicht die Druckwassersäule eine Höhe von 18,3 m über der Wasserhöhe des Flusses; die in der Kette auftretenden Kräfte sind in einem Kräfteplan zusammengestellt. Bezweckt wird durch die ganze Anordnung: Vollständiger Wegfall irgend welcher Getriebe, sehr geringer Kraftanfwand (das erforderliche Wasser wäre einer Wasserleitung zu entnehmen oder aus dem Flufs zu pumpen), sowie sehr sanfter, durch Ventile jederzeit leicht zu regelnder Gang der Zugketten. Zu einer praktischen Verwertung hat unseres Wissens der Vorschlag nicht geführt; er dürfte auch nur für Länder ohne Winterkälte, wenn kostspielige Bauten zum Schutze der der Kälte ausgesetzten Oberflächen der Wassercylinder vermieden werden sollen, in Betracht kommen können.

5. A proposed lift bridge at Duluth (Minn.) J. A. L. Waddell, Railroad Gaz. 1892, S. 259, mit Taf. Der Erbauer der Halsted-Hubbrücke beschreibt eingehend den Entwurf einer Hubbrücke, die in den wesentlichsten Punkten der ebengenannten Brücke nachgebildet, dabei aber für weit gröfsere Abmessungen des freien Schiffahrtsprofiles bestimmt ist.

6. *Lift bridge over the Harlem river, New-York. Railroad Gaz. 1892, S. 424, mit Abb. Ebendaselbst S. 667. Kurze Mitteilung über deren Inbetriebsetzung.

P. Crépy, Déplacement d'une pile de pont levis sur la rivière de Harlem (E. U.). Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 360, mit Abb. Die auf S. 72, Fig. 72 abgebildete Brücke mufste anläfslich des endgiltigen Baues einer viergeleisigen Eisenbahn-Drehbrücke versetzt werden, um während dieses Baues den Bahnverkehr aufrecht erhalten zu können. Die Versetzungsarbeiten wurden in folgender Weise vorgenommen: Das Gewicht der eisernen Pfeiler wurde um 100 t verringert (hiervon treffen 85 t auf das Gegengewicht), sodafs die zu bewegende Last nur mehr 180 t betrug; nun wurde der ganze Pfeiler auf Schienen, die auf einer auf Pfählen ruhenden Holzbrücke aus Hölzern von 0,30 × 0,30 m lagerten, mittels 6 Drahtseilen nachts um $12^1/_2$ Uhr (um den Bahnverkehr nicht zu unterbrechen) innerhalb 21 Minuten vorerst um 16,5 m aus seiner bisherigen Stellung weggeschoben, die daselbst entstandene Lücke sofort geschlossen und der Bahnverkehr von 3 Uhr 20 Minuten morgens ab bereits wieder aufgenommen. Der Pfeiler selbst konnte hierauf ohne Überhastung an die neue Baustelle gebracht und daselbst eingestellt werden.

7. *Le pont-levant de Larrey. M. Galliot, Ann. des ponts et chaussées 1893 II, S. 261, mit Taf. 19 bis 21. Beschreibt in eingehendster Weise auf 73 Seiten an der Hand vieler Zeichnungen vorliegende Brücke; auch ist eine ausführliche Berechnung der Bewegungsvorrichtungen gegeben.

R. Audra, Le pont-levant de Larrey. Génie civil 1894, Bd. 25, S. 161, mit Abb. und Taf. 11. Giebt einen kurzen Auszug aus den Ann. des ponts et chaussées.

8. *Lift bridge over the Chicago river (Halsted). Engineering 1894 I, S. 776, mit Abb. und Doppeltafel, Ebendaselbst 1894 II, S. 6, mit Doppeltafel und S. 24, mit Abb. Sehr viele und deutliche Zeichnungen.

P. Crépy, Pont-ascenseur à Chicago. Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 378, mit Taf. 25, Ebendaselbst Le pont à relèvement de Halsted street, Chicago 1895/96, Bd. 28, S. 81, mit Abb. u. Taf. 6. Enthält 2 grofse, deutliche Schaubilder der geöffneten und geschlossenen Brücke.

Die neue Hubbrücke über den Chicago-Flufs in Chicago. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1893, S. 191 u. 656, mit Abb.

Halsted lift bridge. Railroad Gaz. 1893, S. 143, m. Abb., Ebendaselbst 1894, S. 234, m. Abb.

The Halsted lift over the Chicago river. Engineering News 1894 I, S. 320, mit Abb. und Tafel.

Th. Landsberg, Die Hubbrücke über den Chicago-Flufs in der Süd-Halsted-Strafse. Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 102, mit Abb.

L. le Roud, Pont-levant de Chicago. Nouv. ann. de la constr. 1894, S. 138, mit Abb.

J. A. L. Waddell, The Halsted street lift bridge. American society of civ. eng. 1895, S. 1, mit Abb. und Taf. 1 bis 5. Der Erbauer der Brücke giebt auf 36 Seiten eine sehr eingehende Beschreibung dieses Bauwerkes; auf weiteren 23 Seiten veröffentlicht er den Meinungsaustausch, der sich mit einer Reihe von Fachgenossen hierüber entsponnen hatte. Die Abbildungen enthalten einige sonst nirgends veröffentlichte Einzelheiten.

9. A new lift bridge for Kansas city. Railroad Gaz. 1895, S. 861, ohne Abb. Für diese Stadt soll von Waddell eine Hubbrücke ganz ähnlich der Halsteder, nur für viel gröfsere Durchfahrtsbreite gebaut werden; die letztere würde 128,32 m bei 13,71 m Höhe betragen. Die Brückenbreite ist mit 19,81 m angegeben, von welcher 9,75 m dem Eisenbahn-, 2 × 3,51 m dem Strafsen- und 2 × 1,52 m dem Fufsgängerverkehr dienen sollen.

A lift span 128,32 m. Engineering News 1895 II, S. 401. Kurze Angaben über diesen Entwurf Waddell's.

10. Pont levant sur la Lis, à Houplines. Ann. des trav. publ. de Belgique 1896 I, S. 7, mit Abb. und Taf. 1 u. 2. Es war eine ganz ähnliche Aufgabe wie bei der Larrey-Brücke zu lösen; die Durchfahrtsbreite betrug 7,25 m und die Durchfahrt unter dieser Brücke war auf diese Länge zeitweilig 2,9 m hoch frei zu halten. Die Entfernung der beiden Kaimanern ist hierbei 21 m. Da keine Wasserkraft vorhanden und die Aufstellung eines Gasmotors seitens der Behörde nicht geduldet wurde, mufste zum Handbetrieb gegriffen werden. Die Überbrückung der ganzen Kanalbreite erfolgte dreiteilig, indem auf die beiden Kaimauern Gitterpfeiler aufgestellt und diese mit Fachwerksparallelträgern von 1,8 m Höhe verbunden wurden; die unbeweglichen, an die Kaimauern in Strafsenhöhe anschliefsenden Brückenteile sind, an den oberen Fachwerkträgern hängend, mit derselben fest verbunden und bilden ihrerseits die Auflagerung und Führung für das mittlere, 7,25 m lange, bewegliche Brückenstück, dessen Gewicht im Betrag von 12 t bis auf 0,1 t gegengewichtet ist, sodafs ein Mann mittels eines gewöhnlichen Kurbelgetriebes bei 13 kg Kurbeldruck die an Galle'schen Ketten aufgehängte Mittelöffnung bequem heben und senken kann. Die festen Brückenteile sind durch Pfahlwerk gegen anfahrende Schiffe geschützt. Bei 4,38 m Hauptträgerentfernung und 4 m nutzbarer Fahrwegbreite, für eine Belastung durch einen 18 t-Wagen berechnet, betragen die Gesamtkosten 55080 M., wovon 32400 M. auf den eisernen Überbau und Zubehör, 22680 M. auf die Widerlagerherstellung treffen. Der bewegliche Teil des Überbaues wurde aus Stahl, die festen Teile aus Schweifseisen angefertigt.

IV. Roll- und Kranbrücken.

Wenn auch diese beiden Systeme bei der Ausführung neuerer beweglichen Brücken weniger Berücksichtigung fanden, hat gleichwohl die erstgenannte Brückengattung eine weitere Ausbildung erfahren, da wiederholt bei Entwürfen ganz hervorragender Brückenbauwerke dasselbe ausgedehnteste Verwendung gefunden. Bei dem Wettbewerb für die bedeutende Schiffahrtskanalbrücke in Duluth wurde die Anordnung einer Rollbrücke als die beste Lösung der gestellten Aufgabe erachtet.

a. Entwürfe für eine bewegliche Brücke über den Schiffahrtskanal in Duluth (vergl. Fig. 57, S. 43).

Die beachtenswerte Preisbewerbung für diese Brücke (vergl. S. 42) hat auch eine Reihe von Rollbrücken-Entwürfen gebracht, von denen der auf S. 43, Fig. 57 *c* dargestellte als der beste unter allen 20 Entwürfen mit dem ersten Preis ausgezeichnet wurde; es soll dieser, sowie die beiden weiteren Brücken dieses Systemes (Fig. 57 *g* u. *f* auf S. 43) kurz beschrieben werden.

α) Arentz und Sangdahl (Fig. 57 *e*, S. 43) wählten eine einfache Rollbrücke *(sliding draw bridge)* und trennten den Strafsen- von dem Trambahnverkehr, indem sie beide in verschiedener Höhe über die Brücke leiteten. Die Trambahngeleise werden durch Rampenanlagen mit der Brücke verbunden. Beim Öffnen und Schliefsen der Brücke rollt sie auf einem Geleise rück- oder vorwärts. Das von dem durch Anordnung geneigter Wandungen nach allen Richtungen möglichst standhaft ausgebildeten Centralturm aufzunehmende Gewicht im Betrag von ungefähr 1200 t wird durch die 12 Hauptpfosten des Turmes (siehe Fig. 57 *e*, Grundrifs) auf eine grofse Grundfläche verteilt, weshalb jeder Pfostenfufs auf einem Schemel, unter dem 6 Doppelrollen laufen, ruht; die Führung dieser ganzen Rollenschar erfolgt für jede Rolle (von 0,914 m Durchmesser bei 254 mm Breite mit starker Flansche in der Mitte) durch ein Paar 31,8 kg schwerer Stahlschienen auf schmiedeeisernen mit dem Grundmauerwerk verankerten Platten. Um die wegen der Verschiebung um 93,32 m erforderliche ausgedehnte Gründung auszunutzen und dabei an dem Brückengewicht zu sparen, sind alle unteren Knotenpunkte des Landarmes ebenfalls mit Schemeln ausgestattet, die auf je 4 Rädern (von 0,610 m Durchmesser und 127 mm Breite und nur einem Flansch auf der Innenseite) auf den Schienen der Turmgeleise laufen. Während der Bewegung dienen jedoch diese Schemel hauptsächlich nur als Führung. Der erforderliche Überschufs an Gegengewicht für den Stromarm im Betrag von 200 t ist nächst den 3 Endfachen des Landarmes untergebracht. Das Abheben des Stromarmes vom Auflager erfolgt mittels elektrischen Antriebes vom Brückenende am Landarm aus, in der Weise, dafs durch entsprechende Übersetzungen die an den Turmkopf schliefsenden oberen Gurtungsfache verkürzt werden. Die Bewegung der Brücke bewirken 6 je 38 mm starke Drahtseile, die über 1,52 m Rollen laufen und sich um mit Rollen versehene Trommeln von 3,05 m Durchmesser und 775 mm Breite, die auf die aus dem Maschinenhaus kommende Hauptwelle aufgekeilt sind, aufwinden. Als Kraftquelle dient eine 116pferdige Zwillingsdampfmaschine, die mit kraftvollen Bremsen ausgestattet und zum Umsteuern eingerichtet ist. Für die elektrische Beleuchtung der Brücke, sowie für die bereits erwähnte Endhebung und Bedienung der Signalvorrichtungen ist eine weitere kleine Dampfmaschine, von der eine Dynamomaschine angetrieben wird, vorgesehen. Die zum Öffnen oder Schliefsen benötigte Zeit ist mit 1 Minute, die Gesamtkosten sind mit 991200 M. angegeben.

β) Der Entwurf Sanne & Finley enthält eine seitlich bewegliche Zufahrt (s. Fig. 57 *g*)[24]); die Brücke wird durch einfaches Zurückrollen, nachdem durch seitliches Ausschieben der Zufahrt die Laufschienen frei geworden, geöffnet. Die Kosten der Brücke einschliefslich der Zufahrten sind auf 588000 M. berechnet.

γ) Entwurf Sooysmith & Co. Die Gesamtanordnung ist aus Fig. 57 *f*, S. 43 ersichtlich. In der Mitte ist die Brücke in geschlossenem Zustand durch sehr kräftige Zapfen aus Phosphorbronze verbunden, die vor dem Öffnen durch ein von dem Hauptpfosten jeder Brückenhälfte ausgehendes Schraubengetriebe durch Dampfkraft zurückgezogen werden müssen; bevor die Brückenhälften selbst nun zurück-

[24]) Auf S. 43 irrtümlich mit *e* statt mit *g* bezeichnet.

gezogen werden, tritt eine kleine Kippbewegung um die wagrechte Pfeileraxe ein, wodurch die Brückenenden erst von einem festen Auflager daselbst frei werden. Jede Brückenhälfte ist durch bewegliche Gegengewichte derart im Gleichgewicht gehalten, dafs ohne Berücksichtigung des Windes die Reibungswiderstände allein zu überwinden wären. Die Gesamtkosten sind mit 588000 bis 798000 M., je nach deren Höhe über dem Wasserspiegel, angegeben. Ein ganz ähnlicher Entwurf **Waddells** ist auf 646800 M. veranschlagt. Diese Brücken benötigen beiderseits des Flusses grofse Streifen Landes.

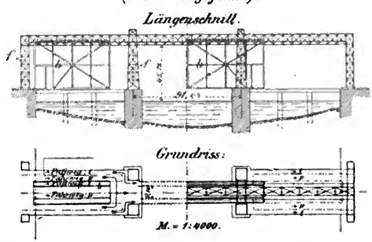
Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellennachweis).

Rollbrücken, Kranbrücken und Brücken mit beweglicher Bühne betreffend.

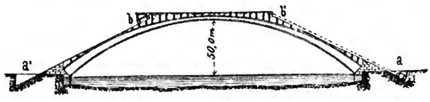
1. *Competitive designs for a bridge over the Duluth ship canal. Engineering News 1892 II, S. 390, mit Tafel.
   P. Crépy, Projets d'un pont mobile sur le canal de Duluth. Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 101, mit Taf. 7.
2. Rolling platform bridges. Engineer 1893 II, S. 382, mit Abbild. Giebt eine der vielen, anläfslich des Baues der Tower-Brücke geplanten Lösungen der damals gestellten Aufgabe. Die Steinkonstruktion reicht blofs bis über Hochwasser. Die beweglichen Plattformen *b* sind mittels Rollen an dem oberen durchlaufenden Fachwerkträger aufgehängt, über dessen Mittelfeld der Fufswegverkehr durch Aufzüge oder Treppen in den mittleren Pfeilertürmen ununterbrochen erfolgen kann. Den Fahrverkehr vermitteln die unten gelegenen Plattformen der Kastenträger *b*, die in der Strafsenhöhe liegen, **ohne** Zufahrtsrampen zu benötigen. Abgesehen von der wenig gefälligen äufseren Erscheinung dieses Entwurfes enthält er einen unter Umständen brauchbaren Grundgedanken.

Fig. 80. *Vorschlag für die Tower-Brücke in London (nicht ausgeführt).*



3. J. E. Tuit, The Tower bridge, London 1894. S. 19, Fig. 1 und S. 29 Beschreibung hierzu. Entwurf einer **Rollbrücke** über die Themse von **Barclay Bruce**, 1876. Die Themsebreite von 241 m teilte **Bruce** in 7 gleiche Öffnungen von je 30,48 m Lichtweite mit Zwischenpfeilern von 4,57 m Stärke, über die eine bewegliche Plattform, von 91,44 m langen Parallelfachwerkträgern getragen, gerollt werden konnte; bei diesem Verhältnis zwischen Lichtweite und Träger mufsten immer mindestens 2 Pfeiler den Rollenträger unterstützen. Das Gewicht des ganzen beweglichen Teiles unter Zugrundelegung einer Belastung von 776 kg/qm durch Verkehrslast giebt der Verfasser zu 5000 t, die Gesamtkosten, einschliefslich der Maschinerie, auf 2937600 M. und die jährlichen Betriebskosten auf 204000 M. an; hierbei gedachte er innerhalb 3 Minuten 100 Fahrzeuge und 1400 Passagiere überzusetzen.
4. G. **Lebris**, Les constructions métalliques, Paris 1894. S. 255, mit Abb. Eine Rollbrücke in Tien-Tsin (China) für Strafsenverkehr ist aus 2 Teilen gebildet, um über 2 Zwischenpfeiler aus Eisen über die Widerlager hinausgerollt werden zu können, bis zwischen den Pfeilern eine Durchfahrtsweite von 8,5 m vorhanden ist. Die Bewegung erfolgt durch Winden innerhalb der Pfeiler, Zahnräder und Zahngestänge; letzteres ist in der Längsrichtung der Brücke unter deren Fahrbahntafel befestigt.
5. Die neue Brücke über die Themse in London unterhalb des Tower. Barkhausen, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 411, mit Abb. Für eine weitere, stromab der neu erbauten Tower-Brücke geplante Brücke ist der in Fig. 81 gegebene Vorschlag gemacht worden. Die Bogenbrücke, die der Schiffahrt genügend Durchfahrtshöhe gewährt, dient dem Verkehr zweier Wagen *a* und *b*, die an demselben Seile hängend sich wechselseitig als Gegengewicht dienen.

Fig. 81.
Vorschlag für eine Themse-Brücke in London.



Werden zwei solche Seilbahnen mit entgegengesetzt gerichtetem Betrieb zu gleicher Zeit in Gang erhalten, so kann ein nahezu ununterbrochener Fuhrwerksverkehr aufrecht erhalten werden, während der Fufsgängerverkehr mittels der leicht anzubringenden Treppen-Anlagen stets ungehindert stattfindet.

6. A novel swinging foot bridge. Engineering News 1895 I, S. 50, mit Abb. Anläfslich der Ausbesserung einer Drehbrücke in San Francisco wurde mit sehr einfachen Mitteln eine Kranbrücke für Fufsgängerverkehr, die nur vorübergehend Dienste zu leisten hat, hergestellt. Als Drehzapfen dient ein 30,48 m langer, runder Pfahl, der 12,19 m über den Kai reicht und nach drei Richtungen mit Seilen verankert ist. Die Brückenträger sind einfache Hängewerke, deren Untergurt je aus einem 18,9 m langen Balken besteht; das eine Brückenende ist um den Hauptpfahl drehbar, das andere Ende ist durch ein Seil mit dem Kopf des letzteren ebenfalls wagrecht drehbar verbunden; der Hauptpfahl ist nicht genau lotrecht, sondern um 0,61 m gegen die Brückenlängsaxe vornüber geneigt; soll die Brücke seitwärts gedreht werden, so braucht nur das zur Rückverankerung dienende Seil mittels einer Winde etwas angezogen zu werden, wodurch das Brückenende sich vom Auflager abhebt. Nach dem Eindrehen kommt die Brücke durch die Wirkung des Eigengewichtes in die Ruhelage. Die Einzelheiten dieser sehr einfachen Anordnung sind durch deutliche Zeichnungen klargestellt.

V. Schiffbrücken (schwimmende Brücken), Fähren und Landebrücken.

a. Die Pontonbrücke über den Düna-Strom bei Riga [Litt. 20].

Die neue, an Stelle einer Flofsbrücke erbaute, 524,13 m lange Pontonbrücke zeigt wesentliche Vervollkommnung in dem Bau dieser Brückengattung, die um so beachtenswerter sind, als diese Brücke einen hervorragenden Platz unter ihresgleichen einnimmt, sowohl in Bezug auf ihre Gröfsenverhältnisse, als auch mit Rücksicht auf die hohen Anforderungen, die an ihre Leistungsfähigkeit infolge der örtlichen und klimatischen Verhältnisse des Landes gestellt werden müssen.

Die Pontonbrücke (in ihrem endgiltigen Zustand) setzt sich zusammen aus 14 Normalelementen, 2 ausfahrbaren Öffnungen zum Durchlassen der Schiffe und 2 Uferelementen, die den Anschlufs der Brücke mit den Ufern zu vermitteln haben. Die Brückenbreite beträgt 13,96 m (= 10,76 m [Fahrweg] und 2 × 1,6 m [Fufsweg]). Die Fahrbahntafel und Fufswege sind aus Holz. Ein Normalelement hat 32 m Länge und ist aus 4 Fachwerkträgern mit kastenförmigen Gurtungen gebildet. Die Entfernung der die Fachwerkträger stützenden Pontons ist 19,5 m, sodafs über die letzteren die Fachwerkträger um je 6,25 m herausragen. Die Pontons sind vollkommen geschlossene Hohlkörper aus Eisenblech, die durch 4 Querwände in 5 wasserdichte Einzelräume zerlegt werden. Die ovalen Pontons spitzen sich gegen beide Enden hin zu, und gehen schliefslich in eine scharfe Spitze aus. Die gesamte Länge von Spitze zu Spitze aller Normal-

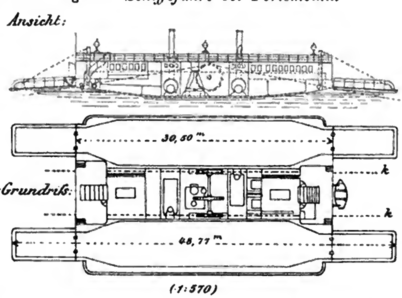
elemente ist 26,05 m, die der Uferelemente nur 23,16 m. Jede der 5 wasserdichten Abteilungen ist mittels gut abdichtender Mannlöcher zugänglich gemacht, um Nachbesserungen vornehmen zu können. Die Pontons sind, mit Rücksicht auf den Widerstand beim Eisgang, in dem Flufsgrunde in neuer, sehr zweckmäfsiger Weise durch sich kreuzende Ketten von 38 mm Gliedstärke verankert, wodurch deren Widerstandsfähigkeit gegen Treibeis erheblich gesteigert wird. Durch die neue Anordnung der Brückenelemente wird bei 5,5 m Wassertiefe die nutzbare Querschnittsfläche nur um 6% durch die Pontons verengt. Die eigenartige Gestalt der Pontonenden in Verbindung mit der oben erwähnten Verankerungsweise mittels Ketten befähigt die Pontons als sehr kräftige Eisbrecher zu wirken. Durch eine ebenfalls neue, sinnreiche Verbindung der einzelnen Brückenelemente mittels Stellschrauben an den zusammenstofsenden Kragarmenden erfolgt ein elastisches Übertragen einzelner Lasten auf eine gröfsere Anzahl von Pontons, wodurch ein gleichmäfsigeres Eintauchen der mehr und weniger belasteten Pontons erzielt wird.

Ein Ponton eines Normalelementes wiegt 22,3 t und besitzt eine Tragkraft von 180 t. Bei den Uferelementen verringern sich diese Zahlen auf 14,3 bezw. 128 t. Das Gewicht des eisernen Oberbaues eines Normalelementes (32 m lang) beträgt 60,6 t, also 1,9 t/m Brückenlänge. Die der Tragkraftberechnung zu Grunde gelegten Belastungen sind 400 kg/qm für die Fahr- und 560 kg/qm für die Fufswege.

b. Die Schiffsfähre bei Portsmouth [Litt. 8].

Schiffsfähren, wenn sie in der in Fig. 82 dargestellten Weise angeordnet sind und, wie meistens der Fall ist, von Ufer zu Ufer durch Ketten geführt werden können, besitzen folgende nicht unerhebliche Vorzüge: 1. Die Anschaffungskosten sind verhältnismäfsig nicht sehr grofs; 2. Wind und wechselnder Wasserstand stören den Betrieb wenig; 3. bedürfen sie keiner Schiffahrtskunst; 4. können sie, wenn für Dampfbetrieb eingerichtet, jeden Augenblick angehalten werden; 5. ist die erforderliche Betriebskraft sehr gering.

Fig. 82. *Schiffsfähre bei Portsmouth.*



Die in Fig. 82 dargestellte, im Herbst 1892 in Betrieb gesetzte Dampffähre ist im wesentlichen nichts anderes als ein Neubau der seit 1840 im Betrieb stehenden Holzfähre in neuer, den heutigen Anschauungen und Anforderungen entsprechender Ausführung und Ausstattung.

Der Schiffskörper ist 30,50 m lang und 18,90 m breit und hat nur 0,46 m Tauchungstiefe. An jedem Ende sind 2 Schnäbel *(prows)* angebracht, um die Landung bei jedem Wasserstande leicht ausführen zu können; die Eigengewichte dieser Schnäbel halten sich, da sie miteinander durch Ketten verbunden sind, im Gleichgewicht. Die Kabinen, Kessel und Maschinen sind im länglichen Mittelraum untergebracht und dieser ist, sowie auch das obere Promenadedeck durch Stiegen von verschiedenen Seiten aus

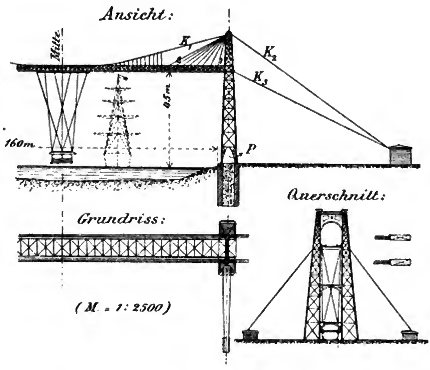
zugänglich gemacht. Die alten Führungsketten aus weichem Stahl und 38 mm starken Gliedern ohne Stege wurden wieder verwendet. Die grofse Stärke der Ketten hat den Vorzug, dafs sie sehr steil ins Wasser abfallen, mithin in kurzer Entfernung vor und hinter dem Schiff bereits 6 bis 9 m Wassertiefe für die Schiffahrt vorhanden ist; auch nutzen sich die Ketten sehr wenig ab und bedürfen die Kettenräder, die aus Stahlgufs sind und deren Zähne ausgewechselt werden können, selten einer Ausbesserung.

Das Fährschiff ist mit 2 Hochdruckmaschinen ausgestattet; an eine derselben ist eine Dynamomaschine für die elektrische Beleuchtung gekuppelt, die in erster Linie für den Maschinenraum, dann für das Schiff überhaupt zu dienen hat. Nur eine dieser Maschinen ist ständig im Betriebe, die andere dient als Rückhalt; bei eintretendem Unfalle der Hauptmaschine kann die Fähre überdies von Hand bewegt werden. Der ganz aus Stahl gebaute Schiffskörper ist in 5 wasserdichte Abteilungen zerlegt. Eine Fahrt benötigt 5 bis 6 Minuten zur Zurücklegung eines Weges von 548 m und wird alle halbe Stunde ausgeführt. Dies ist ein grofser Nachteil des Fährschiffes, kommt im vorliegenden Falle jedoch weniger in Betracht, da aufser ihm alle 10 Minuten kleine Dampfboote verkehren. Der Fassungsraum des Schiffes beträgt 1000 Personen. Angaben über Anschaffungs- und Betriebskosten fehlen.

c. Die Fähre von Portugalete [Litt. 13]

dient zur Verbindung der Stadt Portugalete mit dem Seebad Las Arenas. Diese Brücke löste in neuer Weise die Aufgabe, unter Freihaltung eines aufsergewöhnlich grofsen Raumes für die Schiffahrt (im vorliegenden Falle 160 m Breite und 45 m Höhe) einen Uferverkehr, wenn auch nicht ununterbrochen, herzustellen.

Fig. 83. *Fähre von Portugalete.*



Die 61 m hohen Pfeiler sind aus Winkeleisen 150 × 150 × 11 mm und 11 mm dicken Blechen zusammengesetzt; die 2 Hauptkabel K_1 werden aus je 4 Drahtseilen von je 22 qcm gebildet; die schrägen Absteifungskabel 1 bis 8 haben 4,23 bis 6,77 qcm Querschnittsfläche. Alle diese Kabel vereinigen sich auf dem Pfeilerkopf in einem wagrecht verschieblich gelagerten Bolzen, von dem aus die Ankerkabel K_2 zu den massiven Mauerblöcken unten führen. Die Brücke ist heftigen Stürmen ausgesetzt und für 275 kg/qm Winddruck berechnet. Die Kabel aus weichem Stahldraht besitzen eine Zerreifsungsfestigkeit von 9000 kg/qcm; das Stahlmaterial der Pfeiler 6000 kg/qcm bei 22% Dehnung; die oberen Brückenträger aus weichem Stahl 4400 kg/qcm bei 24% Dehnung; die zulässige Beanspruchung betrug 1000 kg/qcm.

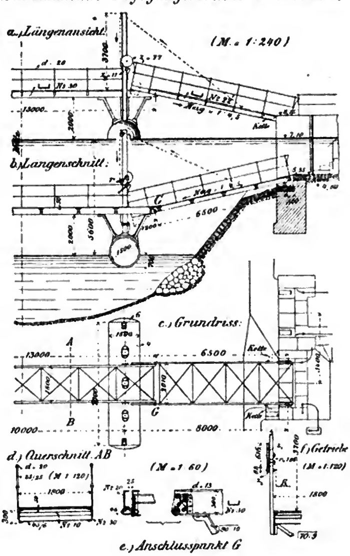
Der bewegliche Brückenteil, die Plattform *(charriot transbordeur)* hat bei 8 m Länge und 6,25 m Breite für 150 Personen Sitzplätze, ist mit 18 Drahtseilen an die oberen Führungsrollen angeschlossen und legt die Fahrt von 160 m in nicht ganz einer Minute zurück. Der Antrieb erfolgt durch eine 25pferdige Dampfmaschine, von der jedoch blofs 5 Pferdekräfte für die Förderung der Brückengondel in Anspruch genommen

werden; die übrige Kraft der Dampfmaschine wird für Beleuchtung und andere Zwecke abgegeben. Eine schaukelnde Bewegung der Gondel soll sich nicht bemerkbar machen. Die Prüfung der Brücke erfolgte mit 40 t Last. Erdacht wurde die Brücke von dem spanischen Architekten De Palacio und durchgebildet und gebaut von dem französischen Ingenieur Arnodin. Unbestreitbare Vorteile dieses Systems sind geringster Bedarf an Baugrund und Entfall jeglicher Rampenanlage.

d. Schwimmende Fufsgängerbrücke über die Einfahrt zum Mosel-Sicherheitshafen bei Koblenz [Litt. 1].

An Stelle einer alten Schiffbrücke wurde der in Fig. 84 dargestellte schwimmende Fufsgängersteg, rechtwinkelig die Hafenmündung überschreitend, errichtet. Die drehbaren Aufsenklappen ruhen landwärts auf 200 mm starken Gufsrollen; wasserwärts sind sie in der aus Fig. 84 *e* ersichtlichen Weise an das mittlere Schwimmfeld angeschlossen. An dem über *G* vorragenden Kragstück von 1,20 m Länge sind 500 kg schwere Gegengewichte angebracht. Die Längswandungen der beiden Schwimmtonnen sind aus 4 mm, die gewölbten Enden aus 6 mm starkem Blech hergestellt. Jede Aufsenklappe besitzt 2 Winden *K* (Fig. 84 *f*) zum Aufziehen, sodafs 4 Mann zur Bedienung erforderlich sind. Um den verlangten nutzbaren Wasserhöhenunterschied von 5,6 m ohne allzu steile Aufsenfelder zu erhalten, sind 2 nebeneinander gelegene Zugänge in 2,8 m Höhenunterschied angeordnet; die Stellungen der Brücke für die beiden Grenzstellungen sind in Fig. 84 *a* eingezeichnet. Für die Durchfahrt grofser Schiffe und bei Eisgang wird die ganze Brücke ausgefahren. Bei einer Tragkraft von 280 kg/qm belaufen sich die Gesamtkosten auf 12410 Mark, wovon 8000 Mark auf die Widerlager- und Rampenanlage, 3900 Mark auf den eisernen Überbau und 510 Mark auf die Bedienung entfallen.

Fig. 84.
Schwimmende Fufsgängerbrücke in Koblenz.

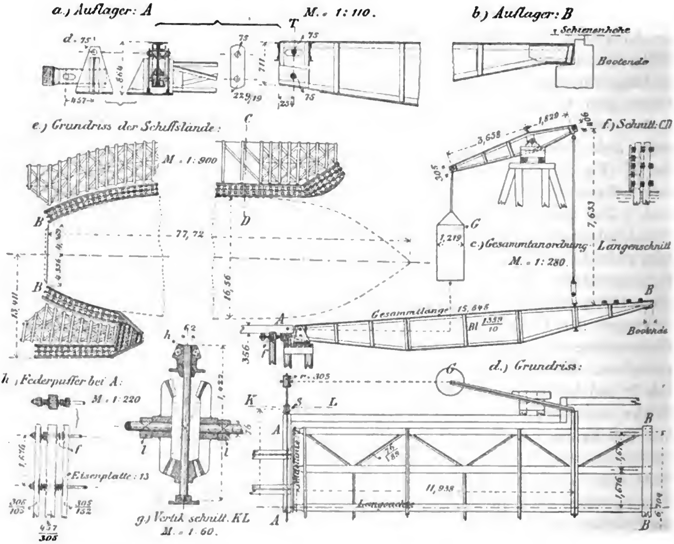


e. Fähre über den Michigan-See und Landungsbrücke dazu [Litt. 11].

Das Fährschiff, in dessen oberem gedeckten Raum 4 Geleise für Eisenbahnzüge (insgesamt für 24 Wagen) liegen, landet in einer aus Pfahlreihen und Längshölzern gebildeten Bucht, die genau die Form des Schiffes haben sollte, siehe Fig. 85 *e* u. *f*; ersterer mögen auch die Hauptabmessungen des Schiffes entnommen werden. Bei der Herstellung dieser Landebucht waren erhebliche Schwierigkeiten zu überwinden, da

man beim Pfähleschlagen teilweise auf altes Holzwerk stiefs, teilweise in schwarzen Schlamm geriet, sodafs statt 13,68 m 21,28 m lange Pfähle verwendet werden mufsten. Die Rammen, auf Flöfsen aufgestellt, hatten eine Höhe von 16,72 m und der Fallbär wog 1,27 t. Alle Pfähle waren mit Eisenschuhen beschlagen. Sämtliche, dem Anprall des Fährbootes ausgesetzten Hölzer sind aus Eichenholz, die kurzen Pfähle aus Eichen- oder Ulmen-, die langen aus Fichtenholz. Beim Aus- und Einladen der Eisenbahnzüge erfolgt die Verbindung der Schiffsgeleise mit den festen Geleisen am Lande durch die in Fig. 85 *c* u. *d* dargestellte Zugbrücke, deren Wirkungsweise aus der Zeichnung klar ersichtlich ist. Die Hauptträger sind 15,58 m lange Blechträger aus 10 mm dicken Wandblechen, ungleichschenkeligen Gurtungswinkeln, 150 × 100 mm und 330 × 12,5 mm starken Deck-Flacheisen zusammengesetzt und durch 75 × 75 mm Winkel entsprechend abgesteift. Die Brückenbreite von 8,51 m genügt für 4 Reihen Güterwagen.

Fig. 85. *Landebrücke für die Fähre über den Michigan-See.*



Die Handhabung der Brücke ist folgende: Da das Gegengewicht *G* blofs das Eigengewicht der Zugbrücke auszugleichen hat, erfolgt das je nach der Tauchungstiefe des Fährschiffes erforderliche Heben oder Senken der Landungsbrücke durch Antrieb von der Hauptwelle *A* (Fig. 85 *d*) aus, die ihrerseits durch Kegelradübersetzung mittels bei *h* (Fig. 85 *g*) bezw. bei *S* (Fig. 85 *d*) eingesteckter Tummelbäume in Bewegung gesetzt wird, und nun mittels der am Gegengewicht *G* befestigten Kette die auf dem hölzernen Querbock (Fig. 85 *c* u. *d*) um wagrechte Drehaxen beweglichen Eisenhebel

(2 : 1) dreht; die erforderliche Hebekraft leistet dabei das Gegengewicht *G* durch Vergröfserung seines Schwerpunktabstandes von der Drehaxe des Hebels.

Um die beim Anfahren des Fährschiffes (1000 t Tragkraft) unvermeidlichen Stöfse unschädlich zu machen, wurde die Federpufferung *f* (Fig. 85 *c* u. *h*) angeordnet.

Die beiden völlig gleich gebauten Fährschiffe besitzen eine Tauchtiefe von 3,65 m (die Tiefe der Landungsbucht ist 5,63 m) und eine Wasserverdrängung von je 2550 t; da sie häufig bei Treibeis und heftigen Stürmen die 100 km weite Strecke zurückzulegen haben, sind dieselben sehr kräftig gebaut, und überdies gegen Eisgefahr durch 5 mm Stahlbänder, die auf 125 mm starkem Eichenholz befestigt, bis 1,20 m ober- und unterhalb der Wasserlinie reichen, geschützt. Der Schiffsschnabel ist bis auf den Kiel reichend mit Stahlverkleidung ausgestattet, da das Schiff auch als Eisbrecher zu dienen hat. Jedes Schiff ist mit einer wagrechten Verbundmaschine von 508 bezw. 1016 mm Cylinderdurchmesser und 912 mm Hub und Kondensationsvorrichtung ausgestattet; die 4 Kessel, von denen 2 im vorderen, 2 im rückwärtigen Schiffsteil aufgestellt sind, können alle gemeinsam auch nur einer Maschine Dampf liefern und haben 9,5 Atm. Dampfdruck. Die Diagramme jeder Maschine zeigen 610 Pferdekräfte bei 86 Umdrehungen. Das Schiff besitzt 3 Schrauben, von denen die vorn gelegene ausschliefslich als Eisbrecher, um den Schnabel möglichst frei zu halten, wirken soll, die beiden rückwärts gelegenen die Vorwärtsbewegung des Schiffes zu leisten haben.

Im Schiffsraum sind entsprechende Vorrichtungen angebracht, die eine unverschiebliche Stellung jedes einzelnen Wagens bei stürmischem Wetter gewährleisten. Angaben über Kosten und Gewichte fehlen.

f. Die Landungsstelle in Antwerpen am Kai Van Dyck [Litt. 3 u. 14]

bietet die für den Verkehr angenehmste Verbindung des festen Landes mit dem Schiffe und zwar bei jedem Wasserstand; sie liegt mitten an einem der schönsten Kais dieser Stadt. Die Anlage selbst gestaltet sich überaus einfach: zwei schwimmende, nur lotrecht bewegliche Pontons, durch Brücken, deren Neigung bei ungünstigem Wasserstand 15% nicht überschreitet, mit dem Ufer verbunden, vermitteln den Verkehr zwischen Schiff und Land. Das grofse Ponton (100 × 21 m) 2 m tief, dient für die Beförderung der Wagen, ein kleineres (20 × 10 m) für die der Fufsgänger und der Tiere. Das erstere ist aus 5 einzelnen, 20 m langen, mit Pumpen und Einsteigöffnungen ausgestatteten Teilen zusammengesetzt, und erfolgt die Führung desselben an den Kaimauern, beim Heben und Senken hervorgerufen durch Flutwechsel, mittels der in Fig. 86 *a* gezeigten Anordnung; das Wegschwimmen desselben wird durch die in Fig. 86 *b* dargestellten Nischen, in denen Rollen laufen, die mittels Puffer mit dem Ponton verbunden sind, verhindert. Die Zufahrtsbrücke ist beim grofsen Ponton 40 m lang, 6 m breit und hat eine gröfste Neigung von 10%; bei dem

Fig. 86. *Kai Van Dyck in Antwerpen.*

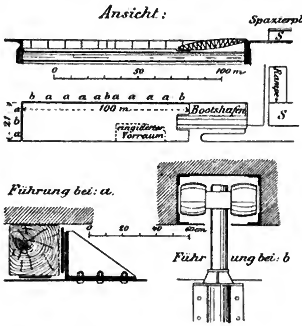
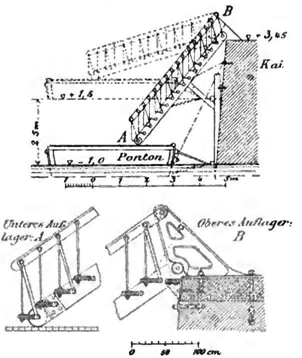


Fig. 87. *Landebrücke vom Ausrüstungshafen in Kiel.*



kleinen (Fufsgänger-)Ponton ändern sich diese Mafse auf 30 m bezw. 3,5 m und 15%. Die oberen Brückenenden sind mittels wagrechter Drehzapfen mit der Kaimauer verbunden; das untere Brückenende läuft auf an den Enden mit Nasen versehenen Gufsplatten mittels Rollen. Kosten und Gewichtsangaben fehlen.

g. Die schwimmende Treppe am Ausrüstungshafen zu Kiel [Litt. 14]

zeigt eine sehr zweckmäfsig und vielfach gebräuchliche Anordnung, wenn es sich nur um Fufsgänger- oder Traglastenverkehr handelt. Die Treppe ist rund 5,2 m lang und schliefst bei höchstem bezw. niedrigstem Wasserstand einen Winkel von 17° bezw. 51° mit der Wagrechten ein, wobei für jede Stellung der Brücke die Auftrittstufen wagrecht bleiben. Das Ponton mufs gegen Abschwimmen entsprechend gesichert sein.

Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellennachweis).

Schiffbrücken (schwimmende Brücken), Fähren und Landebrücken betreffend.

1. *Schwimmende Fufsgängerbrücke über die Einfahrt zum Mosel-Sicherheitshafen bei Koblenz. Kirch, Zeitschr. f. Bauw. 1888, S. 497, mit Abb. und Taf. 60. Eingehende Beschreibung, enthält auch die Tragkraftsbestimmung.

2. The Greenwich ferry. Engineering 1888 I, S. 172, mit Abb. Die Fähranlage besteht aus 2 Dampfbooten, 36,58 m lang, 12,19 m breit und 1,83 m Tiefgang, 2 Landungsstegen, 21,34 mal 18,29 m, und 4 auf Schienen laufenden Plattformen (je 2 hintereinander) 18,29 m lang und 7,01 m breit. Letztere sind mit Maschinen und Getrieben versehen, mittels deren sie den Schienen entlang auf den ausbetonierten Uferböschungen (1 : 10) auf und ab bewegt werden können. Die beweglichen Plattformen vermitteln in einfachster Weise, auf diesen geneigten Ebenen laufend, für jeden Wasserstand den Verkehr zwischen den Dampfbooten und den oben am Uferrand befindlichen festen Landungsstegen.

3. *Embarcadères flottants du Port d'Anvers. Nouv. annales de la constr. 1889, S. 177, mit Taf. 52 u. 53.

R. Scheck, Einiges über Landebrücken. Deutsche Bauz. 1894, S. 148, mit Abb. Reisebericht, enthält aufser einer Schilderung der Landestelle in Antwerpen noch eine Reihe beachtenswerter Mitteilungen über Landebrücken.

4. A novel landing stage for piers. Engineer 1889 II, S. 446, mit Abb. Diese schwimmende Anlegestelle für Schiffe liegt in offener See bei Folkestone und besteht aus einer Landebrücke, an deren äufserstem Ende ein Eisengerüst sich befindet, in dessen Mitte von letzterem ein lotrechter Cylinder mit 1,83 m Durchmesser, der 5,5 m in den Meeresboden eindringt, gehalten wird; in diesem Cylinder kann ein zweiter, der oben die Plattform für die Fahrgäste trägt, sich lotrecht auf und ab bewegen. Der untere Führungscylinder ist aus 2 Halbcylindern derart zusammengesetzt, dafs die Verbindungsfuge gleichzeitig eine Führung (gegen Drehen) des Hebecylinders bildet. Der obere Tragcylinder kann mittels besonderer Wasserbehälter beliebig belastet werden. Die Bewegung der Plattform erfolgt auch bei stürmischem Wetter sanft und ruhig.

5. Debarcadère flottant de seacombe sur la Mersey. Génie civil 1890/91, Bd. 18, S. 383, mit Abb. und Taf. 35. Diese Hub- und Landebrücke verbindet den schwimmenden Landeplatz, der 69,15 m vom Kai entfernt ist, durch 3 Brücken mit demselben; die in Betracht zu ziehende Fluthöhe kann 9,91 m betragen. Die mittlere zweigeleisige Brücke dient ausschliefslich der Verladung von Güterwagen. Die aus 21 Pontons (aus 6 mm Blech) zusammengesetzte Landebrücke hat eine Gesamtlänge von 95,20 m; hierbei beträgt die Pontonbreite auf 32,4 m Länge nur 16,6 m, auf 62,8 m Länge (für die Güterwagen) 25 m. Sehr starke, kreuzweise gelegte Ketten (50 mm) sichern dem Landeplatze seine Stellung. Drei Wasserdruck-Pressen, die auf ihrem Haupte grofse Plattformen zur Aufnahme der Lasten tragen, vermitteln die Verbindung des Landeplatzes mit den 3 Brücken. Die Druckkolben haben 350 mm Durchmesser und 9,985 m Hubhöhe und tragen bewegliche Plattformen von 8,54 $\times$ 2,57 m. Die Fundamente der Aufzugspressen reichen bis 13,22 m unter das Flufsbett hinab. Die ganze Anlage ist sehr eingehend beschrieben, jedoch sind nähere Kostenangaben nicht gemacht.

6. Projekt einer Eisenbahnfähre über den Kanal zwischen England und Frankreich. Lebret, Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 105, mit Abb. Eine Fähre, die Raum für 2 Bahnzüge und aufserdem für Gepäck und Fufsgänger bietet, wird auf einer wegen der ungestörten Schiffahrt 14 m unter dem Meeresspiegel liegenden Leitbrücke mittels Ketten, ganz nach Art der Kettenschiffahrt, geführt. Die Geschwindigkeit soll 7 m in der Sekunde betragen und die Kosten sind auf 40 Millionen Gulden ö. W. veranschlagt.

7. Der Bau der zweiten Hafeneinfahrt in Wilhelmshaven. E. Rechtern und H. Arnold, Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891, S. 363 u. 475, mit Taf. 18 u. 19. Der zeitweilige Abschlufs des neuen Hafens gegen den Ausrüstungshafen erfolgt durch ein eisernes, ganz als Schiffskörper ausgebildetes Schwimmponton von 26,85 m Länge und 4 m Breite (beides in Oberdeck gemessen), das auch als Brücke für Eisenbahnwagen- und Strafsenfuhrwerk-Verkehr dient. Dessen ganze Einrichtungs- und Betriebsweise wird an den oben angeführten Stellen der ausführlichen Abhandlung eingehend beschrieben und auf den beiden Tafeln dargestellt.

8. *Floating bridge at Portsmouth. Engineering 1892 II, S. 463, mit Abb. Enthält aufser vorliegendem Gegenstand eine kurze historische Entwickelung solcher Fähren.
The new floating bridge between Portsmouth and Gosport. Engineer 1892 II, S. 268, mit Abb. Besonders grofse und deutliche Zeichnungen.

9. L'appontement de Kotonou. F. Delamoy, Génie civil 1892, Bd. 21, S. 1, mit Abb. u. Taf. 1. Enthält eine sehr eingehende Beschreibung dieses Bauwerks, einschl. aller Aufstellungsarbeiten.
G. Lebris, Les constructions métalliques, Paris 1894. S. 290, mit Fig. 216.

10. Transfer bridge for Norfolk and Carolina railroad. Engineering News 1892 I, S. 96, mit Taf. Eingehende Beschreibung einer zweigeleisigen Eisenbahn-Landebrücke. Die im wesentlichen aus 3 Blechträgern bestehende Brücke ist an einem Ende um eine wagrechte Axe drehbar, am anderen Ende auf einem hölzernen Ponton aufgelagert. Der Ausgleich der verschiedenen Wasserstände bis zum Betrag von 2,13 m erfolgt durch Einpumpen oder Auslassen von Wasser in das Ponton, das mit Ejektoren und Aus- und Einlafsventilen entsprechend ausgestattet ist. Eine nahe befindliche Dampfmaschine der Eisenbahnanlage liefert den hierfür erforderlichen Dampf. In 1 Minute kann das freie Schiffsende um 0,152 m gesenkt bezw. um 0,051 m gehoben werden.

11. *Transfer bridge and slipe for the Toledo, Ann Arbor and North Michigan railway. Engineering News 1893 I, S. 556, mit Abb. und Tafel. Eingehende Beschreibung.
Transport des trains par bateaux sur le lac Michigan. Génie civil 1893, Bd. 23, S. 183, mit Abb. und Taf. 12.
The car transfer steamer, Ann Arbor. Railroad Gaz. 1892, S. 613, mit Abb.

12. Kosten von Schiffbrücken. Doell, Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 83. Enthält sehr in das Einzelne gehende Mitteilungen über die Kosten von Schiffbrücken am Oberrhein. Endergebnis: Eine 5,40 m breite Pontonbrücke von 241,7 m Länge, einschliefslich 35 Pontons aus Eichenholz, 5 Eisbrechern, eisernen Querträgern, kiefernen Strafsenbalken, Belag und allem Zubehör kostet auf das laufende Meter Länge 700 M.

13. *Ferry bridge connecting Portugalete and Las Arenas. Engineer 1893 II, S. 224, mit Abb.
G. de Saint-Arrail, Pont transbordeur pour grands débouchés. Génie civil 1893, Bd. 23, S. 229, mit Abb.
Seligmann, Ein neues Überbrückungssystem. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1894, S. 390, mit Abb.

Die Fährbrücke bei Bilbao. Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 76, mit Abb.

G. Lebris, Les constructions métalliques, Paris 1894, S. 257, mit Abb.

Pont à transbordeur. Mém. de la societé des ingenieurs civils 1894 I, S. 532, m. Abb.

14. *Einiges über Landebrücken. R. Scheck, Deutsche Bauz. 1894, S. 148, mit Abb. Reisebericht über Landebrücken der verschiedensten Art.

15. Une tramway funiculaire aérien. Génie civil 1893/94, Bd. 24, S. 375, mit Abb. In sehr kühner Weise wird ein Trambahnwagen, innen 4,25 m lang (daran 2 Plattformen von 0,90 m), 1,80 m breit und 1,98 m hoch, der Platz für 16 Personen bietet, an 2 Drahtseilen von 35 mm Stärke hängend, mittels eines 12,7 mm dicken Zugseiles über den Tennessee-Flufs geführt. Die beiden Aufhängepunkte der Tragseile, 325 m voneinander entfernt, sind verschieden hoch; das höher gelegene Seilende steigt bis 106,8 m über den Wasserspiegel. Die Auffahrt erfolgt in $3^1/_2$, die Niederfahrt (durch das Eigengewicht allein) in $^1/_2$ Minute. Zum Antrieb des Zugseiles dienen zwei in einer Endstation aufgestellte 20pferdige Dampfmaschinen.

Schwebende Seilfähre über den Tennessee-Flufs bei Knoxville. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1894, S. 74, ohne Abb.

16. Loewe, Festschrift zur Eröffnung des Nord-Ostsee-Kanales. 1895, S. 30. Kurze Mitteilung, dafs 16 Drahtseilfähren mit Handbetrieb aufser den Brücken dem Verkehr über den Kanal zu dienen haben, ohne weitere Beschreibung.

17. Car transfer bridge at West Norfolk Atlantic and Danville railway. Engineering News 1895 II, S. 178, mit Abb. Ausführliche Beschreibung einer Landebrücke für eine zweigeleisige Eisenbahn, die mit dem Ufer durch eine 137 m lange, hölzerne Gerüstbrücke verbunden ist. Die Anordnung, etwas abweichend von der in Amerika üblichen Durchbildung derartiger Brücken, bezweckt, die Verwindungen, die in den Landebrücken bei Belastung nur eines Geleises auftreten, herabzumindern; zu diesem Zwecke ist jedes der freien Enden der am anderen Ende um eine wagrechte Axe drehbaren Landebrücke unabhängig vom anderen mit Gegengewichten ausgestattet. Die Durchbildung der eisernen Landebrücke (Blechträger) ist sehr eingehend dargestellt und besprochen. Die drei in 4,06 m Entfernung angeordneten Hauptträger (Blechträger) sind 15,54 m lang und 1,98 m in der Mitte hoch. Die wagrechte Querverspannung wurde, um die Wirkungen von Verdrehungen möglichst abzuschwächen, in die Schwerlinie der Hauptträger gelegt. Als Eigengewicht liegt für die Hauptträger 0,89 t/m und als Verkehrslast 2,24 t/m der Berechnung zu Grunde. Die Bewegungsvorrichtungen sind näher beschrieben.

18. Zur Kritik der Schwebebahnen. C. O. Gleim, Deutsche Bauz. 1895, S. 266, mit Abb., Fig. 25 u. 26. Mitteilung über eine am St. Pauli-Landungsplatz in Hamburg geplante, sehr bedeutende Schwebefähre, deren Errichtung aus näher erörterten Gründen vom Verfasser bekämpft wird.

19. Cableway for passenger traffic at Brighton (England). Engineering News 1895 I, S. 67, mit Abb. Diese Seilfähre dient ausschliefslich dem Personenverkehr und führt über eine tiefe Schlucht in 70,10 m Höhe über deren tiefsten Punkt. Die Entfernung der Tragtürme beträgt 198,12 m, die Hängekabel sind 365,8 m lang und an den Enden entsprechend verankert. Die Fahrwagen sind 2,13 × 1,52 m grofs und fassen 8 sitzende Personen, die in $2^1/_2$ Minuten über die Schlucht befördert werden. Das Triebseil wird durch einen $4^1/_2$pferdigen Petroleummotor bewegt. Von Oktober bis Mitte Dezember wurden 4000 Personen übergesetzt.

20. *Pontonbrücke über den Düna-Strom bei Riga. A. Agthe, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1895, S. 39, mit Abb. Sehr eingehende Beschreibung mit deutlichen Abbildungen; Überblick über die geschichtliche Entwickelung dieser Brücke.

21. Ponts flottants articulés. Ch. Talansier, Génie civil 1895/96, Bd. 28, S. 404, mit Abb. Je 3 Pontons sind derart miteinander verbunden, dafs jedes einzelne sich unabhängig von den anderen um eine lotrechte Axe drehen kann, wodurch sich jedes Ponton selbstthätig in die Strömung stellen wird und besonders schiefe Überbrückungen leichter ausführbar werden. Anwendung hauptsächlich für Kriegszwecke.

22. Ph. Schrimpf, Die Wattfähre, Elberfeld 1896, 48 Seiten, mit 5 Tafeln. Diese Schrift enthält den ausgearbeiteten Entwurf einer Wattfähre zur Herstellung einer regelmäfsigen Überlandverbindung nach Norderney, sowie einer von Ebbe und Flut unabhängigen Verbindung zwischen Karolinensiel, Spiekeroog-Langeroog. Die Tafeln geben ein anschauliches Bild der beabsichtigten Ausbildung derselben, mit Angabe der Hauptabmessungen. Der mittlere Flutwechsel beträgt 2,4 m, die gröfste Wellenhöhe überschreitet nicht 1,5 bis 2 m. Die grofse Fähre (Norderney) soll eine Plattform von 300 qm zur Aufnahme von 200 Personen erhalten und mit einer 200pferdigen Maschine

ausgerüstet werden; deren Leergewicht wird zu 100 t angegeben, wovon 22 t auf die Räderpaare und Achslager, 17,5 t auf das Eisenfachwerk, 20 t auf die Plattform mit Aufbau und Ausrüstung, 20 t auf die Maschinenanlage einschliefslich Kohlen und Wasservorrat treffen. Die Gesamtfelgenbreite jedes der 8 Räder beträgt 1,6 m; jedoch ist dieselbe, um den Wasserwiderstand während der Bewegung zu vermindern, in 9 cylindrische Streifen zerlegt. Das Führungsseil aus Stahldraht wiegt bei 35 mm Stärke 4,5 kg/m. Die Kosten der Zugseile belaufen sich auf 40000 M. (1 km = 5000 M.), die der beiden mit Maschinen u. s. w. vollständig ausgerüsteten Fähren auf 160000 M., die der Gesamtanlage auf 1 Million Mark. — Auf denselben Grundzügen beruhend ist der Entwurf für die obengenannte kleinere Fähre durchgebildet, nur mit wesentlich verminderten Abmessungen.

Werke und Schriften allgemeinen Inhaltes,
die auch bewegliche Brücken behandeln.

1. Th. Cooper, General specifications for iron and steel railroad bridges and viaducts, New York 1890, 24 Seiten. Derselbe, General specifications for iron and steel highway bridge viaducts, New York 1890, 22 Seiten. Diese Schriftchen entsprechen inhaltlich beiläufig unseren Normalbedingungen für Eisen- und Hochbaukonstruktionen, weshalb diese Bedingungen der Ausbildung und Querschnittsbemessung der Tragwerke der beweglichen Brücken in den Vereinigten Staaten Amerikas vielfach zu Grunde liegen. Unter anderem findet man auch Angaben über die zulässigen Beanspruchungen bei Anwendung von *medium* und *soft steel* (mittelhartem und weichem Stahl) als Baumaterial, sowie Vorschläge, für welche Brückenteile die eine oder andere dieser Stahlgattungen Verwendung finden soll.

2. J. B. Johnson, C. W. Bryan, F. E. Turneaure, The theory and practice of modern framed structures, New York 1893, 517 Seiten, mit vielen Tafeln und Abbildungen. Behandelt auf S. 179 bis 196, mit Abb., die Berechnung und auf S. 357 bis 381 mit Abbildungen und Tafeln die Konstruktion der Drehbrücken in ziemlich encyklopädischer Weise.

3. W. H. Warren, Engineering construction in iron steel and timber, London und New York 1894, 373 Seiten, mit Abbildungen und Tafeln. Auf S. 323 bis 332 und Taf. 4 *a* bis *c* werden in sehr kurzer Weise die Drehbrücken erledigt.

4. G. Lebris, Les constructions métalliques, Paris 1894, 377 Seiten, mit vielen Abbildungen. Auf S. 235 bis 259 und 279 bis 290, mit Abb., finden sich kurze Angaben über bewegliche Brücken der verschiedensten Systeme und über zerlegbare Brücken, sowie kleine, meist schaubildliche Ansichten derselben.

5. W. Ritter, Der Brückenbau in den Vereinigten Staaten Amerikas (Weltausstellungsbericht), Bern 1894, 66 Seiten, mit 11 Tafeln. Auf S. 64 bis 66 kurze Besprechung der beweglichen Brücken. Das Heftchen enthält eine Reihe von Mitteilungen über Fabrikationsweise, Durchbildung der Knotenpunkte, der Fahrbahntafel u s. w., die unmittelbar auch für die amerikanischen beweglichen Brücken gelten, und sind in dieser Hinsicht die beigegebenen Tafeln sehr beachtenswert.

VI. Zerlegbare Brücken und Brücken für Kriegszwecke.

Während alle bisher besprochenen Brückengattungen möglichst ununterbrochen und ohne ihren Standort zu verändern, dem Verkehr zu dienen haben, wobei derselbe allerdings unvermeidliche, dafür aber nur auf kurze Zeiträume beschränkte Störungen erleidet, sollen die zerlegbaren Brücken beliebig ihre Baustelle wechseln können, leicht aufzustellen und wieder abzuschlagen und, einmal eingebaut, für stetige Benutzung geeignet sein. Der letztere Fall kann eintreten in Kriegszeiten bei den eigentlichen „Kriegsbrücken“ oder zu friedlichen Zwecken bei der Durchforschung und Erschliefsung neuer Länder, die wenige oder noch gar keine Verkehrswege besitzen. Über die Kriegs-

brücken im weiteren Sinne des Wortes ist aus naheliegenden Gründen sehr wenig in der Fachlitteratur zu finden, mit Ausnahme einiger Mitteilungen französischer Herkunft; jedoch auch Mitteilungen über zerlegbare Brücken im allgemeinen finden sich nur spärlich, obwohl es keinem Zweifel unterliegt, dafs bei sachgemäfser Durchbildung sich Brückensysteme dieser Art ausbilden lassen, die in Zukunft eine Rolle als Ausführartikel für Kolonien sich erringen können.

Bei allen derartigen Entwürfen dürften folgende Punkte beachtenswert sein: 1. Bildung steifer, geschlossener Stabelemente, mit Vermeidung abstehender, schwacher und daher leicht abbiegbarer Anschlufsteile, 2. kleinstmögliche Anzahl verschiedener Brückenelemente, 3. centrischer gegenseitiger Anschlufs aller Stäbe, sowohl der Haupt- als auch der Verspannungsträger, 4. Rücksichtnahme auf einfache und zwanglose Aufstellung, 5. bei Anwendung von Gelenkverbindung Vermeidung zu hohen Laibungsdruckes, 6. Verwendung besten Materiales, um (mit Rücksicht auf Gewicht und Verschickung) mit der zulässigen Beanspruchung so hoch als möglich gehen zu können.

a. M. Eiffel's zerlegbare Brücken [Litt. 1 u. 5].

Die ersten zerlegbaren Eisenbrücken baute Eiffel 1873 für Bolivien; die Ausbildung dieses Brückensystemes erfuhr infolge der Besitzergreifung von Tonkin und Cochinchina durch Frankreich eine wesentliche Förderung, da seit dem Jahre 1879 für die Verkehrswege daselbst in ausgedehntem Mafse die zerlegbaren Brücken Anwendung fanden; von nun an wurde ausschliefslich Stahl bezw. Flufseisen als Baumaterial verwendet. Der Leitgedanke dieses Systemes liegt in der Bildung eines zwei- oder vierteiligen Parallelfachwerkes (ein- oder doppelwandig, je nach der Brückenlänge), das durch Aneinanderreihung lauter ganz gleich gearbeiteter Dreieckselemente (aus winkelförmigen Stäben) und Verbindung derselben durch Bolzen entsteht. Die letzteren haben eine neuartige Anordnung erhalten: sie sind zur Erleichterung des Brückenaufbaues gegen das Gewinde zu, das wesentlich kleineren Durchmesser besitzt als der Bolzenschaft, konisch abgedreht, und die Muttern sind, um die Unterlagsscheiben in Wegfall zu bringen und doch ein gleichmäfsiges Anliegen an den Eisenteilen zu erzielen, innen so ausgebohrt, dafs die genaue Führung durch den Bolzenschaft erfolgt. Vollwandige Querträger und Längsträger (bei kleineren Brücken I-Eisen, bei gröfseren Blechträger) nebst wagrechten Windverspannungen vervollständigen die ganze Brückenanordnung. Wesentlich ist hierbei, dafs alle einzelnen Brückenelemente genau gleich gearbeitet sind, um sie beliebig verwechseln zu können. Die ausgeführten Typen gestatten die Ausführung von Strafsenbrücken von 4 bis 24 m und von Bahnbrücken von 1 m und der gewöhnlichen Spurweite bis 45 m Stützweite. Bei den letztgenannten sind die Dreieckselemente 6 m lang und 3 m hoch. Nachstehende kleine Tabelle giebt die Gewichte und Hauptabmessungen vollspuriger Bahnbrücken:

No.	Spannweite m	Trägerhöhe m	Anzahl der Tragwände eines Hauptträgers	Fahrbahnlage	Brückengewicht t	Gewicht auf 1 m Länge t
1	15	3,08	1	unten	13,78	0,92
2	30	3,08	2	unten	37,53	1,15
3	30	3,08	2	oben	38,69	1,29
4	45	5,90	2	unten	78,61	1,75
5	45	5,90	2	oben	75,59	1,68

Der Überbau einer Notbrücke von 27 m Lichtweite (3,08 m hoch) für die Orleansbahn wurde in 20 Stunden aufgestellt. Bei der Belastungsprobe durch 3 mit 6 und 12 km Geschwindigkeit fahrende Maschinen mit 125,5 t Dienstgewicht ergab sich eine vorübergehende Einsenkung von 18 mm. Die Brücke war 50 Tage im Betrieb. Bei den indischen Brücken wurde eine Beanspruchung von 1000 kg/qcm zugelassen, bei 250 kg/qm gleichmäfsiger nutzbarer Belastung und 4 t Achsdruck bei einer, und 3 t Achsdruck bei 2 Achsen. Für die übrigen Brücken gelten die französischen Vorschriften.

b. Zerlegbare Brücken nach dem System Henry (franz. Génieoffizier) und Fives-Lilles [Litt. 6].

Das Grundelement dieser Brückengattung bilden die an beiden Enden anschlufsfähig ausgebildeten stählernen Gurtungs- bezw. Ausfüllungsstäbe; ihre Verbindung erfolgt durch Bolzen. Alle Druckglieder besitzen kastenförmigen Querschnitt und sind doppelwandig; die fachwerkartig ausgebildeten doppelwandigen Querträger sind centrisch mit einem Bolzen von 45 mm in die Hauptträgerpfosten der Parallelfachwerkträger mit zweifacher Ausfüllung eingehängt; in den Gurtungen sind centrisch die Längsträger mittels eines Bolzens eingehängt, aufserdem auch noch auf Winkeleisen an den Querträgerwänden aufgelagert. Die Trägerhöhe für eine 45 m Brücke beträgt nur 3,6 m. Dieses System fand beim französischen Militär schon mehrfach ausgedehnte Verwendung; so wurden 18 Öffnungen von je 20 m Spannweite durch Infanterie- und Géniesoldaten innerhalb 52 Stunden auf Holzböcken ruhend über den Var-Flufs (1889) aufgestellt.

c. Die zerlegbaren Brücken nach dem System Marcille (franz. Génieoffizier) [Litt. 6 und 8]

werden ausschliefslich durch Aneinanderreihung und Verbindung von Elementen, aus vollwandigen Blechträgern bestehend, gebildet und sind bis zu 45 m Stützweite vorbereitet. Fertiggestellt besitzen diese Brücken eine ungewöhnlich geringe Trägerhöhe (wegen des Eisenbahnversandes) und zwar bei 10 u. 20, 30 und 45 m Stützweite 1/16,7; 1/20 und 1/20,5 der Trägerlänge. Die Trägerelemente können so gruppiert werden, dafs sie um 1,25 m fortschreitende Spannweiten ergeben. Ihre Aufstellung geschieht durch Verschieben unter Anwendung eines besonderen Schnabels *(avant-bec)* und eines entsprechenden Gegengewichtes. Die Bauzeit für Brücken mit obenliegender Fahrbahn ist bei 30 m Spannweite auf 46 Std. und bei 45 m auf 80 Std. angegeben; doch wurde bei Argenteuil eine Brücke von 70 m Gesamtlänge (aus 20 und 27 m Öffnungen bestehend) von 52 Mann Eisenbahntruppen in 60 Std. eingebaut und in betriebsfähigen Stand versetzt.

Bei diesen 3 Systemen geschieht der Einbau fast ausschliefslich durch Überschieben von einer oder beiden Seiten aus.

Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet, zugleich Quellennachweis).

Zerlegbare Brücken und Brücken für Kriegszwecke betreffend.

1. *Transportable Brücken. Birk, Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1887, S. 201, mit Abb. Beschreibung der indochinesischen Eiffelbrücken und des von dem italienischen Ingenieur Cottrau aufgestellten Systemes zerlegbarer Brücken mit Gewichts- und sonstigen näheren Angaben.

Das Hauptelement des letzteren Brückensystemes besteht aus einem geschlossenen viereckigen Winkelrahmen aus Stahl, 97 kg schwer, in welchem die Ecken wechselseitig durch Schrägen verbunden sind; alle übrigen Elemente bestehen aus Deckflacheisen: 5 m lang, 210 mm breit und Bolzen. Die Wirkungsweise der inneren Stabspannungskräfte in diesem System ist ziemlich unklar und entzieht sich dasselbe jeder zutreffenden Berechnung, wenn, wie z. B. die in Fig. 20, S. 204 dargestellten Pfeilerbauten mit Windkraftwirkungen in Betracht kommen.

G. Lebris, Les constructions métalliques, Paris 1894, S. 283, mit Abb. Ponts Cottrau.

2. Ponts portatifs et démontables. Ch. Talansier, Génie civil 1888, Bd. 13, S. 192, mit Abb. Verschiedene Typen zerlegbarer Brücken der Gesellschaft Commentry et Fourchambault, für Militärbrücken, Strafsenbrücken und Bahnbrücken bei 1 m und gewöhnlicher Spurweite. Die Hauptträger sind aus einfachem Dreiecksystem, 4 m (bezw. 5 m) langen Fachen und ebenso langen Ausfüllungsstäben. Bolzenverbindungen.

Die Militärbrücken sind bis 32 m Spannweite bei 3 m Breite ausgebildet; die schwersten Stücke wiegen 66 kg und 115 kg; letztere liegen nur in der Ebene der unteren Gurtung. Das Eigengewicht beträgt 0,23 bis 0,27 t/m Brücke.

Die Bahnbrücken für Schmalspur (1 m) können für wachsende Spannweiten bis 36 m zusammengesetzt werden; ihr Eisengewicht beträgt 0,79 bis 1,29 t/m und ihre Tragfähigkeit ist für 8 t-Achsen berechnet. Die Bahnbrücken bei gewöhnlicher Spurweite sind für um je 2,5 m wachsende Spannweiten bis zu 45 m anwendbar. Ihre Tragfähigkeit ist für 4 in 1,35 m Entfernung gekuppelte Achsen von 12,2 t Achsdruck berechnet und ihr Eisengewicht beträgt zwischen 1,06 und 1,67 t/m Brücke.

3. Brochocki's portable bridges. Engineering 1889 I, S. 323, mit Abb. Parallelfachwerkträger aus gleichseitigen Dreiecken (4 m) gebildet. Eine 32 m lange Brücke ist näher beschrieben und deren Einzelheiten gegeben. Ein schwacher Punkt dieser Brücke liegt in der Anordnung der Querverspannungen; es fehlt ein Endrahmen, der die Kräfte aus der oberen entsprechend in die untere Windverspannung leitet, da diesen Zweck die oberen Ecksteifen allein kaum genügend zu erfüllen in der Lage sind.

G. Lebris, Les constructions métalliques, Paris 1894, S. 287, mit Abb. Giebt ein Schaubild einer solchen Brücke mit Fahrbahn unten. Eine Strafsenbrücke von 4 m Lichtweite, 3,60 m hoch und 36 m lang wiegt 0,72 t/m Brücke; eine Eisenbahnbrücke für gewöhnliche Spurweite bei 45 m Spannweite 1,67 t/m (ohne Belag).

4. Portable bridges, System Seyrig. Engineering 1889 II, S. 139, mit Abb. Gewichtstabellen für Brücken dieses Systemes von 10 bis 30 m; Skizzen für die Aufstellung.

Zerlegbare Brücken, System Seyrig. Birk, Eisenbahntechnische Mitteilungen, Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S 38, mit Taf. 2. Dieses System ist in erster Linie für Strafsenbrücken, sowie für schmalspurige Eisenbahnen entworfen; die Hauptträger sind als Parallelfachwerk mit steif ausgebildeten Zugdiagonalen durchgebildet; die Fahrbahntafel liegt unten; die Absteifung des Obergurtes erfolgt durch eine von überragenden Querträgern auslaufende Strebe. Gelenkbolzenverbindung. Hauptträgerentfernung 3 m. Fachweite 2,5 m.

No.	Stützweite	Zahl der verschiedenen Elemente	Zahl aller Teile	Gewicht des schwersten Elementes	Länge des schwersten Elementes	Gewicht in t der Eisenkonstruktion im ganzen	Gewicht in t der Eisenkonstruktion auf 1 m	Zulässige Belastung auf das qm	Zulässige Belastung auf das m
	m			kg	m	t	t/m	kg	t
1	10,0	16	159	119	4,36	4,27	0,42	1090	3,27
3	15,0	16	207	119	4,36	6,11	0,40	670	2,01
5	20,0	16	255	119	4,36	7,96	0,39	460	1,38
7	25,0	16	303	119	4,36	9,74	0,38	333	1,00
9	30,0	16	351	119	4,36	11,58	0,38	250	0,75

Die zulässige Beanspruchung ist durchaus 1000 kg/qcm. Die Brücken No. 2, 4 mit 12,5 m, 17,5 m . . ., die ebenfalls gebildet werden können, wurden in der Tabelle weggelassen. Die Einzelheiten sind aus der gegebenen Tafel gut ersichtlich.

5. *Eiffel's zerlegbare, stählerne Brücken. Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 470, mit Abb. Enthält Angaben über die neuere Konstruktionsweise dieser Brücken, die für Strafsenbrücken und Bahnbrücken von 0,4 bis 1,5 m Spurweite bis zu 45 m Spannweite Verwendung finden können.

G. Lavergne, Ponts démontables pour le rétablissement des voies ferrées à largeur normale. Génie civil 1890, Bd. 17, S. 321, mit Abb. Enthält die schaubildliche Abbildung einer 45 m langen Eisenbahnbrücke, die nach Eiffel's System gebaut und probeweise in Châlons sur Marne aufgestellt wurde; ferner Gewichtsangaben, sowie die Ergebnisse der Probebelastungen einer 45 m und einer 30 m langen Brücke. Das schwerste Stück wiegt 417 kg.

Eiffel's zerlegbare Brücken für Eisenbahnen. Organ f. d. Fortschr. des Eisenbahnwesens 1891, S. 78, ohne Abb. Enthält dasselbe wie die vorher genannte Quelle.

6. *Neuere Arten zerlegbarer eiserner Brücken. Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 297, mit Abb. Die Systeme Henry und Fives-Lilles, sowie das System Marcille werden an der Hand deutlicher Skizzen näher besprochen. Gewichtsangaben.

G. Lebris, Les constructions métalliques 1894, S. 284 u. 289, mit Abb. Systeme Henry und Marcille.

7. R. Henry, Lieutenant-colonel du génie, Ponts et viaducs mobilisables, Paris 1891. Neue Ausgabe, 97 Seiten, mit 5 Textfiguren und 10 Tafeln. Eingehendste Abhandlung über das Brückensystem dieses Namens. Am Schlufs Litteraturnachweis, die Zeit von 1882 bis 1891 umfassend.

8. Eine tragbare und zerlegbare Brücke von veränderlicher Spannweite. C. Koch, Deutsche Bauz. 1892, S. 145, mit Abb. Beschreibung einer Wegbrücke von 34 m Spannweite und 2 m lichter Breite, deren schwerster Teil 60 kg nicht überschreiten durfte, bei einer Tragfähigkeit von 150 kg/qm. Die Brückenbahn besteht aus Dielen, der Überbau aus Stahl. Die ganze Brücke ist aus 5 Elementen, einschliefslich der Querträger, zusammengebaut, deren Verbindung durch Schrauben und Eiffel'sche Bolzen erfolgt. Die Hauptträger, 2 m hoch, besitzen 2,06 m Fachteilung, lotrechte Pfosten und zweifache (steife) Schrägstäbe. Die Aufstellung geschieht durch Überschieben, wozu ein Schnabel von 17,5 m Länge und ein Gegengewicht von 3,4 t (von 22 m freischwebender Brücke an) erforderlich ist. Der Schnabel wird aus den Normalelementen gebildet; als Gegengewicht dient der Holzbelag (4,3 t). Die Brücke wiegt 5,10 t, der Schnabel 2,60 t und die 14 Rollenlager 0,98 t, zusammen 8,68 t.

9. Les ponts militaires. Ann. industr. 1893 II, S. 257, ohne Abb. Ergebnisse eines für französische Génieoffiziere ausgeschriebenen Wettbewerbes; es handelte sich hierbei nur um kleine Stützweiten.

10. Zusammenlegbare und transportable Brücken. Grieger, Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1894, S. 34, ohne Abb. Neues System, in der Hauptsache aus 2 Galle'schen Gelenkketten bestehend; in der kurzen Fassung unklar.

11. H. v. Ripper, Europäische Kriegsbrückensysteme, Wien 1895. Behandelt auf 104 Seiten, 3 Tafeln und vielen Tabellen die beweglichen Brückentrains mit schwimmender Unterlage (Pontonbrücken) aller gröfseren Armeen.

12. Katalog der Fabrik Arthur Koppel, Berlin: Industriebahnen. In demselben ist auch eine 30,16 m lange, 3 m breite, in Java aufgestellte, zerlegbare eiserne Fahrwegbrücke dargestellt. Deren Tragfähigkeit ist mit 300 kg/qm angegeben; soviel aus dem Schaubild ersichtlich, sind Gelenkverbindungen angeordnet.

VII. Vergleichende Übersicht der neueren beweglichen Brücken.

Die gesteigerten und mannigfacher sich gestaltenden Verkehrsanforderungen gaben aufser zur weiteren Ausbildung der bestehenden auch zur Schaffung ganz neuer Systeme Veranlassung; sie alle haben die gemeinsame Aufgabe zu lösen, die durch den Einbau der Brücke unterbrochene Schiffahrtsstrafse in kürzester Zeit benutzbar zu machen, dann aber eben so rasch den gestörten Verkehr über die Brücke wieder zu vermitteln.

Unter allen im Laufe des betrachteten Zeitraumes ausgeführten beweglichen Brücken behaupten die Drehbrücken, sowohl wegen der Häufigkeit ihrer Anwendung, als auch der aufsergewöhnlichen Abmessungen und der gesteigerten Verkehrsanforderungen

halber (viergeleisige, 118,6 m lange Eisenbahnbrücke), den obersten Rang; sie lassen sich annäherungsweise wie folgt gruppieren:

Die nordamerikanischen Drehbrücken sind die gröfsten, schwersten und zahlreichsten, gleichwohl aber in der Mehrzahl nach einem Grundtypus ausgeführt. Die Fachwerkbrücken sind nahezu ausnahmslos gleicharmig, mit der allgemein üblichen Gelenkbolzen-Knotenausbildung, schlaffen Zuggliedern, Keil- oder Kniehebelstützung an den Enden und Rollenkranzauflagerung *(rim bearing turn table)* über dem Pfeiler angeordnet. Ist ihre Fachteilung sehr grofs, was häufig der Fall ist, so sind Hängestäbe zweiter Ordnung zur Zwischenstützung der Fahrbahntafel, die meistens nächst der unteren, geraden Gurtung liegt, eingeschaltet. Das Pfeilerfach ist vielfach als Querkraftnullfeld ausgebildet, indem die beiden Pfeilerpfosten blofs durch eine schwache, aus Rundeisen und Querstäben bestehende Verspannung, die Scherkräfte von Belang nicht aufnehmen kann, gegen Knickungsgefahr in der Hauptträgerebene gesichert werden oder es ist in anderer Weise[25]) eine ähnliche Wirkung herbeigeführt. Über die Wirkungsweise der Endauflagerung scheinen vielfach Klagen laut zu werden.[26]) Die Berechnung erfolgt durchaus unter Annahme eines unveränderlichen Trägheitsmomentes.[27]) Um die Störungen, die durch das elastische Verhalten der Hauptträger entstehen können, möglichst abzuschwächen, wird die Höhe der Hauptträger ganz aufsergewöhnlich hoch über dem Drehpfeiler gewählt.

Die Ausbildung des Antriebsmechanismus ist in der mannigfaltigsten Weise durchgeführt; man findet aufser Handbetrieb die Verwendung von Dampf- und Wasserkraft; vielfach wird Elektricität und vereinzelt Gas als Motor benutzt.

Vollwandige Drehbrücken finden sich bis zu 55,5 m Trägerlänge ausgeführt, eine anderswo aufsergewöhnliche Länge für Anwendung von Blechträgern.

Die englischen Drehbrücken zeigen wesentlich mehr Mannigfaltigkeit in ihrer Ausbildung, obwohl sie wenig zahlreich ausgeführt wurden; man findet die Rollenkranzauflagerung ebenso wie den Königsstuhl mit Prefswasser-Hebekolben. Die Fachwerke der Hauptträger sind fast ausnahmslos steif, mit einfachem, statisch bestimmten Ausfüllungssystem durchgebildet (nur die Clarence-Brücke ist mit den amerikanischen Gelenkbolzen versehen). Bei Berechnung derselben wird ebenfalls von der Annahme eines unveränderlichen Trägheitsmomentes ausgegangen.[28]) Die überwiegende Anzahl der Fachwerk- und auch der vollwandigen Drehbrücken ist ungleicharmig angeordnet. Es wurde ja auch zuerst in England auf die Betriebsüberlegenheit der ungleicharmigen über die gleicharmigen Drehbrücken hingewiesen.[29]) Der Antrieb erfolgt von Hand oder durch Wasserdruck. (Elektricität bisher nicht verwendet.)

Die Ausbildung der Drehbrücken Deutschlands hat durch den Bau des Nord-Ostsee-Kanales eine ganz besondere Förderung erfahren; jedoch auch bei den übrigen Bauwerken dieses Systemes zeigt sich das Bestreben, für die jeweilig gestellte Aufgabe eine möglichst selbständige Lösung zu finden, infolge dessen sich in der Anordnung und Ausbildung sowohl der Tragsysteme, als auch der Bewegungsvorrichtungen eine grofse Mannigfaltigkeit bemerkbar macht. Das Hauptgewicht wird auf Einfachheit und

---

[25]) Johnson, Bryan, Turneaure, Theorie and practice of modern framed structures, New York 1893. S. 193, Fig. 229.

[26]) Ebendaselbst S. 364: „... all kinds of make-shifts, which generally shirk their duty entirely."

[27]) Ebendaselbst S. 179, § 171 und M. A. Howe, Maximum stresses in draw-bridges having two equal arms, 1894, S. 1.

[28]) W. H. Warren, Engineering construction in iron, steel and timber, London 1894. S. 166.

[29]) T. C. Fidler, The hydraulic machinery of swing bridges. Engineering 1892 I, S. 245.

Sicherheit des Betriebes gelegt; deshalb wird für gröfsere Ausführungen Prefswasserantrieb gewählt, der, wenn auch nicht in Bezug auf Einfachheit, so doch in Rücksicht auf unbedingte Verlässigkeit der elektrischen Kraftquelle vorzuziehen sein dürfte. Bei der Durchbildung der Hauptträger der Fachwerke wurde auf klare Kräftewirkung möglichst Bedacht genommen, infolge dessen sich nur einfache, statisch bestimmte Ausfüllungssysteme angeordnet finden. Die statische Untersuchung der eingedrehten Brücke (durchlaufender Träger) erstreckt sich nicht nur auf die Bestimmung der Stabspannungskräfte, hervorgerufen durch das Eigengewicht und alle ungünstigen Belastungsfälle der Verkehrslast, sowie des Winddruckes, wobei vielfach der Veränderlichkeit des Querschnittes Rechnung getragen wird, sondern mehrfach auch auf den Einflufs ungleicher Wärmewirkung der mehr oder weniger der Sonne ausgesetzten Hauptträgergurtungen.

Französische Drehbrücken. Bei denselben wird grundsätzlich wie bei den deutschen die Verwendung der Rollenkranzauflagerung vermieden. Der Antrieb und die ganze Bedienung erfolgt mittels Wasserdruckes in sehr sorgfältiger, aber meist etwas umständlicher Weise; auf die ins Einzelne gehende Durchbildung der sowohl gleicharmig als ungleicharmig angeordneten Tragkonstruktionen selbst scheint weniger Wert gelegt zu werden; darauf deutet wenigstens die fast ausschliefsliche Verwendung so vielfach statisch unbestimmter Ausfüllungssysteme, dafs eine dem heutigen Stand der Theorie entsprechende Berechnung praktisch kaum durchführbar erscheint. Die vielfach schwerfällige äufsere Erscheinung mag teilweise in der kleinen zulässigen Beanspruchung (600 kg/qcm) und den dadurch bedingten grofsen Querschnittsflächen ihre Erklärung finden, obwohl andererseits nicht klar ist, weshalb die Konstruktionshöhe (bei der fast immer unten gelegenen Fahrbahn) nicht öfters höher gewählt wurde. Alle französischen Brücken lassen mehr oder weniger den Einflufs der Barret'schen Konstruktionsweise erkennen.

Die Drehbrücken anderer Länder haben keine ihnen besonders eigentümliche Anordnungen aufzuweisen. Fast in allen Ländern sind die in gröfsere Flufsläufe gestellten Drehbrücken in ausgedrehtem Zustande durch gröfsere oder kleinere Leit- und Schutzwerke, die meist aus Holzkonstruktion bestehen, gegen anfahrende Schiffe gesichert.

Mit Ausnahme eines Sonderfalles, nämlich der Tower-Brücke, wurden alle bedeutenderen Klapp-, Falt- und Schaukelbrücken des letzten Jahrzehntes in den Vereinigten Staaten Nord-Amerikas erdacht und praktisch durchgebildet; sie lösen die Aufgabe, ein nach oben hin unbeschränktes Durchfahrtsprofil zu schaffen, ohne den Verkehr an den beiderseits anschliefsenden Ufern im mindesten zu beeinträchtigen, in vorzüglicher Weise. Allerdings mufs die für einen Vergleich mit anderen Systemen sehr wichtige Frage der Dauerhaftigkeit bei der Neuheit fast aller dieser Systeme auf geraume Zeit wohl noch eine offene bleiben. Infolge einseitiger Belastung erfolgen in der Brückenmitte gröfsere oder kleinere elastische Bewegungen, die im Laufe der Zeit in Verbindung mit kleinen wagrechten Schwankungen eine ungünstige Wirkung auf die Verriegelung in der Brückenmitte erwarten lassen; am besten in dieser Hinsicht sowohl, als auch in Bezug auf seitliche Steifigkeit dürften sich die in Fig. 67 dargestellten Faltbrücken bewähren.

Dieselben Erwägungen hätten auch für die aus Fig. 55 ersichtliche neue amerikanische Doppel-Drehbrücke bezüglich des Stofses in der Brückenmitte Platz zu greifen; dies um so mehr, als soweit aus den Zeichnungen ersichtlich, der Verriegelungszapfen aufser auf Scherfestigkeit auch auf Biegungsfestigkeit beansprucht wird.

Die neueren Hub- und Zugbrücken entsprechen denselben Anforderungen, wie die eben besprochenen Brückengattungen; ist die Höhe und Lichtweite sehr beträchtlich,

so kommt wohl in erster Linie die Waddell'sche Konstruktion in Betracht (Fig. 75); allerdings wird deren wirtschaftlicher Wert bei wachsender Stützweite, der erforderlichen Gegengewichte und der erheblichen Querschnitts-Abmessungen halber, die den Türmen wegen der bedeutenden Windkräfte im letzteren Fall zu geben sind, sich erheblich mindern. Auf eine in Bezug auf äufsere Erscheinung befriedigende Ausgestaltung dürfte bei diesem System wohl kaum zu hoffen sein.

Gröfsere Roll- und Kranbrücken sind in dem letzten Jahrzehnt nicht zur Ausführung gelangt; letzteres System dürfte bei den Anforderungen, die jetzt an bewegliche Brücken gestellt werden, seine ohnehin immer bescheidene Stellung unter diesen Brücken vollends eingebüfst haben und nur für ganz untergeordnete Zwecke zeitweilig in Frage kommen. Bei Rollbrücken ist zwar immer ein grofser Kraftbedarf zu ihrer Bewegung erforderlich, gleichwohl wurden bei sehr bedeutenden Brückenbauten mehrfach Rollbrückenentwürfe ausgearbeitet und in erster Linie (Duluth) zur Ausführung in Vorschlag gebracht. Hinderlich erweist sich der Ausbildung dieses Systemes der bei grofser zu überbrückender Stützweite erhebliche Bedarf an Hinterland.

Schiffbrücken (schwimmende Brücken) und Fähren verdanken ihre Anwendung meistens wesentlich anders gelagerten Verkehrs- und sonstigen örtlichen Verhältnissen.

Alle neueren, von den bisher üblichen abweichenden Systeme beweglicher Brücken gehen von demselben Grundgedanken aus: die Brücke müsse mit dem Mindestbedarf an Kraft geöffnet und geschlossen werden. Dies suchte man auf verschiedenem Wege durch Anordnungen zu erreichen, die beim Bewegen der Brücke nur mehr die Überwindung der Reibungs- und der durch Windkräfte erzeugten Widerstände erfordern.

Beim Vergleich der verschiedenen Systeme beweglicher Brücken drängt sich die leider offen bleibende Frage nach dem wirtschaftlichen Wert auf; zur Ermittelung des letzteren fehlen so ziemlich alle Unterlagen. Das vorhandene Material gestattet nicht einmal die bereits früher gestellte Aufgabe[30]) die für den ausführenden Ingenieur brauchbaren Eigengewichtsformeln für die Hauptträger der Drehbrücken einer besseren Lösung zuzuführen. Durch die verschiedenen, vielfach auseinandergehenden Methoden der Querschnittsbestimmung ist diese Aufgabe ohnehin erheblich erschwert worden. Es darf vielleicht an dieser Stelle der Wunsch ausgesprochen werden, dafs bei Veröffentlichung neuer Bauwerke Gewichts- und Kostenangaben in ausgedehnterem Mafse und in mehr systematischer Weise gegeben werden als bisher.

VIII. Neuere theoretische Untersuchungen.

Die Entwickelung der Theorie der eisernen Brückenträger hat eine Ausbildung und eine Ausdehnung erreicht, welcher der ausübende Ingenieur nur mehr mit Mühe folgen kann; es ist daher um so erfreulicher, dafs die neueren Arbeiten auf diesem Felde sich meist das Ziel gesteckt haben, einerseits die Lösung bisher ziemlich verwickelter Aufgaben ganz wesentlich zu vereinfachen, andererseits klarzulegen, welchen Einflufs ver-

[30]) Handbuch der Ingenieurwissenschaften, II. Bd., 3. Abt. S. 88.

schiedene bisher als zulässig erachtete Vernachlässigungen bei der allgemein üblichen Rechnungsweise (bei den Vollwandträgern die Vernachlässigung der Formänderungsarbeit der Wandfüllungen, bei den Fachwerken die der Ausfüllungsstäbe) auf das Endergebnis haben. Innerhalb des Rahmens vorliegenden Heftes kann jedoch nur nachstehende kurze Übersicht der neueren Arbeiten auf theoretischem Gebiete gegeben werden.

Litteratur

(nach der Zeitfolge geordnet).

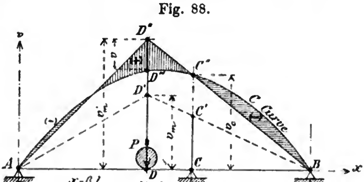
Neuere theoretische Untersuchungen betreffend.

1. R. Land, Über die Ermittelung und gegenseitigen Beziehungen der Einflufslinien für Träger. Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 105 (auch als Sonderdruck erschienen). Der Verfasser setzt die Ermittelung der Biegungslinien als bekannt voraus und giebt, hierauf sich stützend, ein allgemeines zeichnerisches Verfahren, um die Festpunkte für Träger veränderlichen Querschnittes (für vollwandige oder Fachwerkträger) zu bestimmen; nachdem hierauf die Einflufslinien eines Stützenmomentes und eines Auflagerdruckes entwickelt wurden, wird noch die Darstellung der Einflufslinien für die Stabspannungskräfte eines beliebig geformten Fachwerkes aus den Biegungsmomenten, bezogen auf die Fachknotenpunkte, gezeigt.
2. Müller-Breslau, Über einige Aufgaben der Statik, welche auf Gleichungen der Clapeyron'schen Art führen. Zeitschr. f. Bauw. 1891, S. 103 (auch als Sonderdruck erschienen). Der Verfasser giebt eine neue zeichnerische Lösung des 3 Momenten-Satzes für den Träger mit unveränderlichem Querschnitt:

$$\left.\begin{aligned} M_{m-1} l_m + 2 M_m (l_m + l_{m+1}) + M_{m+1} l_{m+1} &= \left(\frac{6\,\mathfrak{M}_m}{l_m} + \frac{6\,\mathfrak{M}_{m+1}}{l_{m+1}}\right) \\ &- 6\,EJ\,\frac{l_m + l_{m+1}}{l_m\, l_{m+1}}\,\delta_m + 3\,\tau\,EJ\,\frac{l_m + l_{m+1}}{h}\,\Delta t \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\; 1.$$

wobei der 1. Klammerausdruck rechts die Wirkung der lotrechten Lasten, der 2. Ausdruck die einer Senkung der Mittelstütze in Bezug auf die Verbindungsgerade der beiden Aufsenstützen um den Betrag δ_m und der 3. Ausdruck die eines Wärmeunterschiedes $\Delta t = t_o - t_u$ der obersten und untersten Faser des Balkens bezeichnet. Hierauf wird gezeigt, wie die für vorliegenden Fall gefundene Lösung auch auf den Träger mit veränderlichem Querschnitt erweitert werden kann.
3. A. Hübner, Durchgehender Träger mit Querkraft-Nullfeldern. Zeitschr. f. Bauw. 1891, S. 552 (auch als Sonderdruck). Es wird auf die erste gröfsere Anwendung eines solchen Nullfeldes bei der 1883 fertiggestellten Niagara-Brücke verwiesen.
4. L. Freytag, Vereinfachung in der statischen Berechnung elastischer Balkenträger, 1892. Die von dem Verfasser entwickelte Methode der Berechnung lotrecht belasteter, auf beliebig vielen und in beliebiger Höhe gelagerter Balkenträger beruht auf rein geometrischer Grundlage (dem Momentenparaboloid) und läfst sich mit Vorteil bei der Berechnung durchlaufender Träger mit veränderlichem Querschnitt anwenden. Die Berechnung des in Fig. 22, S. 20 dargestellten Drehbrücken-Hauptträgers wurde nach dieser Methode wie folgt durchgeführt: Bringt man die an den verschiedenen Trägerquerschnitten veränderlichen Trägheitsmomente Θ_ρ mit einem beliebigen, unveränderlich aufzufassenden Trägheitsmoment Θ (am einfachsten mit dem Trägheitsmoment an der Mittelstütze) in die Beziehung $\Theta_\rho = \vartheta_\rho \cdot \Theta$, so kann man mittels der Gleichung 26[b] auf S. 70 die Ordinaten der in Fig. 88 dargestellten C-Linie berechnen, welche die Grundlage für die ganze weitere statische Untersuchung bildet. Das thatsächliche Moment für einen beliebigen Querschnitt in der Entfernung x vom linken

Fig. 88.



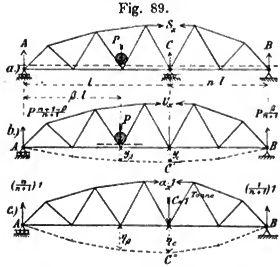
Endauflager setzt sich zusammen aus dem positiven Beitragswert v_m, hervorgerufen durch die Last P, wenn die Mittelstütze zeitweilig weggedacht wird, und einem negativen Beitragswert v_c, der mittelbar durch dieselbe Last infolge des thatsächlichen Vorhandenseins der Stütze C erzeugt wird. Da nun die lotrecht abwärts gerichtete Kraft P, über C gestellt, einen — absolut betrachtet — ebenso grofsen Einflufs wie der nach aufwärts wirkende Stützdruck C übt, so müssen sich für das Moment an jeder beliebigen Stelle des Trägers die + und — Einflufslinien im Punkte C schneiden. Es stellt also die schraffierte Fläche die gesuchte Einflufslinie v dar, die man einfach aus den bereits ermittelten Beiträgen v_m und v_c dadurch erhält, dafs man $v'_m = v_m \cdot \frac{C\,C''}{C\,C'}$ macht. (Vergl. auch: Müller-Breslau, Die graphische Statik der Baukonstruktionen, Bd. II, 1, S. 333, Fig. 318 *e*).

5. W. Keck, Elasticitätslehre, 1892, S. 47—52. Behandelt kurz den prismatischen Balken auf 3 Stützen und zwar 1. mit stetiger, aber unsymmetrischer Belastung, sowie 2. mit einer Einzellast und giebt die Einflufslinien der Auflagerkräfte für beide, die elastische Linie nur für den ersten Belastungsfall. Ebendaselbst auf S. 87—95 und 100—107 wird der Brückenträger mit unveränderlichem Trägheitsmoment auf 3 Stützen mit gleichförmig verteilter beweglicher Belastung bezüglich des Einflusses einer Änderung in der Höhenlage untersucht, sowie die Ermittelung der Einflufslinien für die Momente und Scherkräfte gezeigt.

6. F. Engesser, Die Zusatzkräfte und Nebenspannungen eiserner Fachwerksbrücken, 1892/93. Dieses Buch enthält eine ganze Anzahl eingehender Untersuchungen und Betrachtungen, die für jeden Brückenkonstrukteur sehr beachtenswert sind.

7. Müller-Breslau, Graphische Statik der Baukonstruktionen, Bd. II, 1. S. 141. Untersuchung eines über 2 Öffnungen gestreckten Balkens: Sind die Stabquerschnitte bereits angenähert gefunden, so ergiebt sich folgender einfache Rechnungsgang. Für die beiden in Fig. 89 *b* u. *c* dargestellten Belastungsfälle lassen sich sämtliche Stabspannungen U_x bezw. $\alpha_x . 1$ ohne weiteres in einfacher Weise bestimmen; desgleichen durch einen Williot-schen Verschiebungsplan (ebendaselbst S. 57) oder nach irgend einer bekannten Methode die Durchbiegungen y_c bezw. η_c. Da nun aber die 3 Auflager der Fig. 89 *a* als lotrecht unverschieblich angenommen sind, mufs $1\,y_c - \eta_c . C = 0$ oder $C = \frac{y_c}{\eta_c}\,1$ sein. Bei einer bleibenden Senkung der Mittelstütze um den Betrag c findet sich der Auflagerdruck C aus der Gleichung $C = \frac{1}{\eta_c}(y_c - c)$. Die gesuchten thatsächlichen Stabspannungen finden sich nun aus der Gleichung $S_x = U_x + \alpha_x . C$, wenn für die in Fig. 89 *b* u. *c* dargestellten Belastungsfälle mittels Cremona-Plänen die Stabspannungskräfte U_x und $\alpha_x . 1$ bestimmt sind. Die thatsächliche Durchführung der Rechnung würde sich, da für jeden Belastungsfall die Biegungslinie $A\,C'\,B$ (Fig. 89 *b*) gesondert zu bestimmen wäre, sehr umständlich gestalten; dieser Übelstand wird jedoch durch Anwendung des Maxwell'schen Satzes behoben, aus welch letzterem für Fig. 89 *b* die Beziehung folgt: $y_c = P\,\eta_\beta$, mithin $C = \frac{1}{\eta_c}(P\,\eta_\beta)$ bezw. $= \frac{1}{\eta_c}\Sigma(P\,\eta_\beta)$ für ein Einzellastensystem. Es ist also die für den Belastungsfall Fig. 89 *c* gezeichnete Biegungslinie der belasteten Gurtung die Einflufslinie für C, und der Multiplikator dieser Linie ist $\left(\frac{1}{\eta_c}\right)$.

Fig. 89.

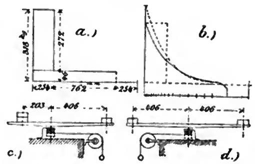


Der Einflufs von Temperaturänderungen wird zweckmäfsig gesondert behandelt, indem man für die Längenänderungen der Stäbe $\Delta s_t = \tau\,t\,s$ mittels eines 3. Williot'schen Verschiebungsplanes die Einbiegung y_t unter C bestimmt, und hieraus $C_t = 1\,\frac{y_t}{\eta_c}$ und $S_t = \alpha_x\,C_t$ findet, wenn hierbei s die ursprüngliche Stablänge, τ die Ausdehnungsgröfse für 1° C. und t die Anzahl der Grade, um welche sich der Wärmezustand geändert hat, bedeutet. Ebendaselbst S. 332—337 wird der durchgehende, beliebig geformte Fachwerksbalken mit 3 ungleich hohen Stützpunkten eingehend behandelt. Es werden der Reihe nach die Einflufslinien für die Mittelstütze, für die Endstütze, für ein Knotenpunktsmoment und für einen Ausfüllungsstab entwickelt.

Die erforderliche Biegungslinie der belasteten Gurtung wird dabei als Seilpolygon aus den elastischen Gewichten bestimmt und die Formänderung der Ausfüllungsstäbe hierbei vernachlässigt. Für Parallelträger werden am zweckmäfsigsten die Stabspannungskräfte aus den Querkräften ermittelt, deren Einflufsfläche dargestellt wird. Schliefslich wird noch die Berechnung des Einflusses einer gleichmäfsigen Erwärmung auf den Mittelstützenwiderstand bei ungleicher Höhenlage der Auflagerpunkte, sowie die Wirkung einer Erhöhung des Wärmezustandes der oberen Gurtung allein gezeigt. Auszug hiervon: „Hütte", Ingenieur-Taschenbuch 1893 II, 15. Aufl. S. 236.

8. T. C. Fidler, The hydraulic machinery of swing bridges. Engineering 1892 I, S. 245, mit Abb. Der Verfasser stellte anläfslich der Ausführung einer gröfseren ungleicharmigen Drehbrücke in England (Anglesia-Drehbrücke in Cork) theoretische Untersuchungen an über die zweckmäfsigsten Bewegungsvorrichtungen überhaupt, wie über den erforderlichen Kraftbedarf, um eine derartige Brücke nicht nur in Bewegung zu setzen, sondern ihr auch eine gewisse Geschwindigkeit zu erteilen. Er kommt zu dem durch die Erfahrung bestätigten Ergebnis, dafs bei grofsen und schweren Drehbrücken die zur Überwindung der Reibungswiderstände erforderliche Kraft einen verhältnismäfsig kleinen Betrag von dem Kraftaufwand ausmacht, der zur Erteilung der der bewegten Masse zu gebenden Geschwindigkeit benötigt wird, was auch ohne weiteres einzusehen ist, da ja die Geschwindigkeit jedes bewegten Teiles der ganzen drehenden Masse einfach proportional ist seinem Abstand von der Drehaxe, während die Trägheitsmomente proportional mit den Quadraten dieser Abstände wachsen. Die Versuche mit den in Fig. 90 *c* u. *d* dargestellten Modellen bestätigen die rechnerisch gefundenen Ergebnisse, indem die um 50% schwerere, ungleicharmige Drehbrücke *c* mit demselben Gewicht in eine viel raschere Drehung versetzt wird, als die gleicharmige Drehbrücke *d*. Die Fig. 90 *a* u. *b* geben die theoretischen und thatsächlichen Arbeitsdiagramme beim Antrieb und der Drehung mittels Druckwassers. Fidler hält den Antrieb mittels Wasserdruckes für den zweckmäfsigsten, und zwar, weil es sich bei Drehbrücken meist darum handelt, einen Vorrat von Energie aufzustapeln, der stundenlang nicht benötigt wird, plötzlich aber eine grofse Kraft entfalten kann. Fidler gelangte zu folgenden Schlufsfolgerungen, die mit den bisherigen Erfahrungen im allgemeinen gut übereinstimmen: 1. Brücken, die nur mit Handbetrieb gedreht werden müssen, sollen möglichst leicht, gleicharmig und ohne Rollenkranzauflagerung (wegen der mit letzterer verbundenen gröfseren Reibungswiderstände) angeordnet werden. 2. Ist die der Brücke zu erteilende Geschwindigkeit erheblich, so spielen die Reibungswiderstände eine untergeordnete Rolle, während die zu überwindende Trägheit für den Kraftbedarf ausschlaggebend ist; es sind daher Königsstuhl- und Rollenkranz-Anordnungen gleich gut anwendbar. 3. Bei ganz genau vorgeschriebener grofser Geschwindigkeit ist nur eine ungleicharmige Drehbrücke mit kurzem Hinterarm und schwerem Gegengewicht anzuordnen.

Fig. 90.



9. Müller-Breslau, Neuere Methoden der Festigkeitslehre. 2. Auflage, 1893, S. 55. Die Einflufslinie für den Auflagerdruck der Mittelstütze eines durchlaufenden Fachwerkträgers, der auf 3 in einer Geraden liegenden Stützpunkten ruht, wird mit Benutzung des Biegungspolygones der belasteten Gurtung in Verbindung mit dem Maxwell'schen Lehrsatz bestimmt, wobei die Biegungslinie als Seilpolygon aus den als Einzellasten zu betrachtenden Winkeländerungen der Gurtungsstäbe der belasteten Gurtung abgeleitet wurde. Fafst man die in Fig. 89 *b* dargestellte Linie $A\,C'\,B$ als das derart gefundene Biegungspolygon auf, so ist $C = P\,\frac{y_\beta}{y_c}$.

Ebendaselbst S. 90. Ableitung der Gleichung 1 auf S. 101 dieses Heftes.

Ebendaselbst S. 168. Bestimmung der Einflufslinie für den Auflagerdruck der Mittelstütze eines geraden durchlaufenden Balkens mit veränderlichem Querschnitt und mit 3 gleichhohen Stützpunkten. Die Gleichung der Einflufslinie lautet wieder $C = P\,\frac{y_\beta}{y_c}$ (Fig. 89 *b*); die Ordinaten der erforderlichen Biegungslinie $A\,C'\,B$ sind hierfür mittels eines beliebig zu wählenden Polabstandes aus einer Belastungsfläche abzuleiten, deren Ordinaten gegeben sind durch die Gleichung $Z = M_x\,\frac{J_x}{J}$, wobei M_x das Moment im Querschnitt x für den in A und B frei aufgelagerten, im

Punkt C mit der lotrecht abwärts wirkenden Last = 1 belasteten Trägers $A\,B$, J_x das jeweilige Trägheitsmoment am betreffenden Querschnitt x und J ein beliebig grofses, unveränderliches Trägheitsmoment bedeutet. Auszug hiervon: „Hütte“, Ingenieur-Taschenbuch 1893 II, 15. Auflage, S. 202.

Ebendaselbst S. 228 wird für die Formänderungsarbeit der Schubkräfte bei vollwandigen stabförmigen Trägern mit unveränderlichem Trägheitsmoment die ganz allgemein giltige Gleichung

$$\mathfrak{A} = \beta \int \frac{Q^2}{2\,G\,F}\, d_x \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 2.$$

gefunden; hierbei ist β ein ausschliefslich von der Form des Trägers abhängiger Zahlenwert, Q die Querkraft, F die Querschnittsfläche und die Elasticitätsziffer für Schubfestigkeit durch $G = \frac{m\,E}{2\,(m+1)}$ bestimmt, wobei E die Elasticitätsziffer für die Biegungsfestigkeit bedeutet; für Schweifs- und Flufseisen kann $\frac{1}{m} = \frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ gesetzt werden.

10. B. de Fontviolant, Ponts métalliques à travées continues, Paris 1893. Die hier gegebene, sehr eingehende Theorie der durchlaufenden Träger soll die Durchführung der vom 29. August 1891 in Frankreich in Kraft getretenen neuen Brückenverordnung erleichtern; sie setzt durchaus unveränderlichen Trägerquerschnitt voraus. Dies berechtigt vielleicht, da andere Angaben nicht vorliegen, zur Annahme, dafs auch bei Berechnung der Drehbrücken-Hauptträger der Einflufs von Querschnittsänderungen nicht berücksichtigt wird.

11. A. Zschetzsche, Einflufs der Schubkräfte auf die Biegung einfacher Vollwandträger. Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 386. Bekanntlich ist es üblich, bei Bestimmung der Einbiegung vollwandiger Träger nur den Betrag in Rechnung zu ziehen, der durch die Verdrehung der Querschnitte hervorgerufen wird; berücksichtigt man aber auch die relativen Verschiebungen der Querschnitte, so ergiebt sich eine weitere Biegungsordinate, die durch die Gleichung

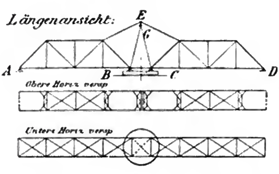
$$y = \frac{M_x}{F \, . \, G} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 3.$$

dargestellt ist; hierbei bedeutet M_x das Biegungsmoment des betrachteten Querschnittes, F die Stegquerschnittsfläche des Trägers von veränderlicher Höhe und G die bereits unter 9 erwähnte Elasticitätsziffer für Schubfestigkeit.

12. Johnson, Bryan, Turneaure, Theorie and practice of modern framed structures, New York 1893, S. 179 bis 196. Die statische Berechnung erfolgt mit Benutzung von Einflufslinien, die für die Auflagerdrücke unter steter Voraussetzung eines unveränderlichen Querschnittes gegeben werden. Hierbei sind die Formeln für: 1. den Träger auf 3 Stützen, 2. den Träger auf 4 Stützen mit gleich grofsen Aufsenfachen und gewöhnlichem Zwischenfach und 3. denselben mit dem Querkraftnullfeld als Zwischenfach aufgestellt; in den Formeln für letzteren hat sich auf S. 194, wie von Whited[31]) nachgewiesen ist, ein Fehler eingeschlichen, der sich durch diese ganze Seite hindurchzieht, worauf bei allenfallsiger Benutzung Rücksicht zu nehmen ist.

Auf S. 367 bis 381 wird die Berechnung der Endhebe- und Drehvorrichtungen für den in Fig. 91 dargestellten Typus durchgeführt. Beachtenswert an letzterem ist die eigentümliche Idee, die dieser als „*standard form of trusses*“ bezeichneten Trägerform zu Grunde liegt. Die starke Neigung der oberen Gurtungsstäbe bezweckt teils, da durch die Einschaltung des Gelenkes $E\,G$ die beiden Hauptpfosten $G\,B$ und $G\,C$ für jede Belastung gleich grofse Kräfte aufzunehmen haben, eine möglichst gleichmäfsige Verteilung des Gewichtes auf den Drehtisch, teils eine gewisse Sicherung der Brücke im ausgedrehten Zustand gegen einfahrende Schiffe, indem, sowie durch letzteres der eine Arm etwas gehoben werden sollte, die Brücke das Bestreben hat, gleichmäfsig auf die Punkte B und C zurückzugehen.

Fig. 91.



Aus allem ist ersichtlich, dafs man sich mit angenäherten Belastungsannahmen und Berechnungsmethoden auch für die Drehbrücken begnügt.

---

31) The moments of stresses in swing spans with 4 supports. Engineering News 1895 II, S. 280.

13. F. Engesser, Die zusätzlichen Beanspruchungen durchgehender Brückenkonstruktionen. Zeitschr. f. Bauw. 1894, S. 305, mit Abb. Der Verfasser untersucht die zusätzlichen Beanspruchungen im durchlaufenden Träger von unveränderlicher Höhe für den allgemeinen Fall beliebig vieler Stützen, die durch wagrecht wirkende Längs-(Bremswirkung) und Querkräfte (Winddruck), sowie durch ungleiche Erwärmung der beiden Trägergurtungen hervorgerufen werden. Eingehend wird ferner der Einfluſs der wagrechten Windkräfte auf einen parallelen Fachwerkträger mit nur einer, in der unteren Gurtungsebene liegenden Verspannung untersucht und allgemeine Beziehungen zwischen den Normalmomenten der Hauptträger und der Windträger aufgestellt, welche auf Gleichungen führen, die, wenn die Querschnitte der Ausfüllungsstäbe im Vergleich zu denen der durchlaufenden Gurtungen vernachlässigbar klein sind, mit den Normalgleichungen gewöhnlicher vollwandiger Träger vollkommen übereinstimmen. Die Untersuchungen sind in ähnlicher Weise auch noch auf den geschlossenen Fachwerkträger mit oberer und unterer Windverspannung ausgedehnt worden und haben zu sehr beachtenswerten Ergebnissen geführt.

14. A. Zschetzsche, Beitrag zur Berechnung durchgehender Balkenträger. Zeitschr. f. Bauw. 1894, S. 597, mit Abb. Der Verfasser untersucht den Einfluſs der Formänderung der Gitterstäbe auf die Spannungswerte bei über 2 Öffnungsfelder durchgehenden Fachwerkträgern mit stark veränderlicher Höhe mit besonderer Berücksichtigung der Höhenänderungen der Mittelstütze auf Grundlage des in Fig. 22 dieses Heftes dargestellten Drehbrücken-Hauptträgers; er entwickelt zu diesem Behuf ein neues Rechnungsverfahren mit Benutzung der Mohr'schen Arbeit in der Zeitschr. d. Ing.- u. Arch.-Ver. zu Hannover 1875 unter Heranziehung des Maxwell'schen Satzes. Die derart für die eingedrehte Brücke vollständig durchgeführte Berechnung zeigt, daſs die maſsgebenden Biegungspolygone, die mit Berücksichtigung der Gurtungsquerschnitte allein gefunden werden, erheblich von denen mit Berücksichtigung sämtlicher Fachwerkstäbe abweichen können. Über der Mittelstütze beträgt dieser Unterschied beiläufig 12°/o. Das Endergebnis der vorliegenden Untersuchung, kurz zusammengefaſst, lautet: Bei Berechnung der Stabspannungskräfte aus der Verkehrslast genügte die Berücksichtigung der Formänderungsarbeit der Gurtungsstäbe; bei Bestimmung des Einflusses der Stützenüberhöhung muſs auch das elastische Verhalten der Ausfüllungsstäbe mit in Rechnung gezogen werden.

15. R. Land, Einfluſs der Schubkräfte auf die Biegung statisch bestimmter und die Berechnung statisch unbestimmter vollwandiger Träger. Zeitschr. f. Bauw. 1894, S. 611, mit Abb. (auch als Sonderdruck erschienen). Der Verfasser untersucht den statisch bestimmten Vollwandträger und findet bei unveränderlichem Trägheitsmoment für die gesuchte, durch die Querkraft allein hervorgerufene Biegungslinie die Gleichung $y_x = \frac{M_x}{FG}$ [32]), die auch in der Form

$$y_x = \frac{1}{FG}\int_0^x Q_x \,.\, d_x \, \ldots \ldots \ldots \quad 3.$$

geschrieben werden kann und bei veränderlicher Trägerhöhe (veränderlichem Trägheitsmoment) übergeht in

$$y_x = \frac{1}{F_c \,.\, G}\int_0^x \overline{Q}_x \,.\, d_x, \, \ldots \ldots \ldots \quad 4.$$

wobei die gedachte Querkraft $\overline{Q}_x = Q_x \frac{F_c}{F_x}$ ist, wenn mit Q_x die wirklich vorhandene Querkraft, mit F_c ein beliebiger, aber unveränderlicher Stegquerschnitt (am zweckmäſsigsten einer von den vorhandenen) und mit F_x der Stegquerschnitt am jeweiligen Trägerquerschnitt bezeichnet wird. Hierauf erfolgt die Ermittelung der wirklichen Biegungslinie, erzeugt durch die Biegungs- und Schubspannungen für verschiedene Arten statisch bestimmter Träger, und zwar bei unveränderlichem Trägheitsmoment, und bei veränderlichem Trägheitsmoment sowohl, wenn die Wandblechhöhe unveränderlich, als auch wenn dieselbe veränderlich ist. Schlieſslich wird in die genaue Untersuchung statisch unbestimmter Träger unter Berücksichtigung des Einflusses der Schubkräfte eingetreten, als Beispiel hierfür der über 2 Öffnungsfelder durchlaufende Träger (mit unveränderlichem Trägheitsmoment) gewählt, und für denselben die Einfluſsflächen für die Stützendrücke, für die Biegungsmomente und für die Querkräfte entwickelt, wobei folgende allgemein giltige, sehr beachtenswerte Beziehungen sich ergaben: Die genauen Endstützendrücke, Biegungs-

[32]) Gleichung 3 auf S. 104 dieses Heftes.

momente und Schubkräfte ändern sich, verglichen mit den angenäherten, sämtlich in algebraisch positivem Sinne, d. h. positive Werte vergröfsern sich, negative verkleinern sich, absolut genommen.

16. C. J. Kriemler, Tabellen zur schnellen Ermittelung der Deformation und des Gleichgewichtszustandes beliebiger massiver Träger von konstantem Trägheitsmomente, Vevey 1894, 62 Seiten, mit 1 Tafel. Die Tabellen, denen auch eine Anzahl Anwendungsbeispiele beigefügt ist, enthalten die Einflufswerte für die Biegungsordinaten y und die Tangenten $\frac{dy}{dx}$ an die Biegungslinie und können in manchen Fällen, besonders mit Beiziehung des Maxwell'schen Satzes, vorteilhaft verwendet werden. Die Behandlungsweise des Trägers mit veränderlichem Trägheitsmoment ist in dem Anhang gezeigt.

17. Pustau, Auflagerdrücke, Laststellungen und Durchbiegung vollwandiger durchlaufender Träger. Organ f. d. Fortschritte d. Eisenbahnwesens 1894. Neue Folge XXXI, S. 167, mit Taf. 25 bis 27. Entwickelung von Tabellen für durchlaufende Träger von 2 bis 4 Öffnungsfeldern zur Bestimmung der Auflagerdrücke, ungünstigen Laststellungen, elastischen Durchbiegungen und Einflufs der Höhenlageänderung der Stützen auf die Gröfse der Stützendrücke und die Durchbiegung in der Mitte der Trägeröffnung.

18. Weyrauch, Über die Berechnung der Brückenauflager. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1894, S. 131. Empfiehlt die Berechnung der Auflager auf Grund der neuen Formeln von Hertz und zeigt, dafs dadurch dieselbe sich nicht umständlicher gestaltet. Es folgen Angaben über die zulässigen Beanspruchungen für die in Betracht kommenden Materialien und die Durchführung eines Beispieles. Schweifseisen kommt überhaupt nicht für diese Zwecke in Betracht; nur Gufseisen und Stahl. Die Eignung des ersteren ist darin begründet, dafs infolge seiner kleinen Elasticitätsziffer grofse Druckflächen bei verhältnismäfsig hoher zulässiger Beanspruchung entstehen, während beim Stahl die hohe zulässige Beanspruchung allein den Vorzug bildet. Weitere Versuche wären sehr erwünscht.

Ebendaselbst S. 571 werden die inzwischen bekannt gewordenen Versuche besprochen.

19. R. Land, Deutscher Baukalender 1894, S. 110 bis 113, mit Fig. 90 bis 93. Behandelt auf kinematisch-statischem Wege den einfach statisch unbestimmten Träger mit besonderer Anwendung auf die Ermittelung der Einflufslinien für die mafsgebenden Gröfsen des durchlaufenden Trägers über 2 Öffnungen. Der Litteraturnachweis hierzu befindet sich ebendaselbst, S. 108.

20. M. A. Howe, Maximum stresses in draw-bridges having two equal arms 1894. Terrehaute, Ind. 17 Seit., mit Abb. und 1 Tafel. Anwendung des 3 Momenten-Satzes bei unveränderlichem Trägheitsmoment unter der Voraussetzung, dafs die Trägerenden jederzeit auf irgend eine Weise niedergehalten werden.

21. Barkhausen, Faltbrücken. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 1148, mit Abb. Der Verfasser giebt eine systematische Darstellung der Wirkungsweise des Klappbrückensystemes unter Zugrundelegung nachstehender, dem Aufsatz entnommener Fig. 92 bis 95. Bezeichnet in denselben L die Klappenlänge bis zum festen Drehpunkt A der Hinterklappe, l die Länge der beiden gleichlangen Klappenarme, S_1 den Schwerpunkt der Vorder- und S_2 den der Hinterklappe, B das Verbindungsgelenk der beiden Klappenarme, h die Höhe des Aufhängepunktes D über der Drehaxe A, h_1 die Höhe der letzteren über dem Wasserspiegel, s die Länge der Hängekette DG; wird ferner der Weg des Schwerpunktes S_1 mit 1' bis 4', und der des Gesamtschwerpunktes, letzteren entsprechend, mit 1'' bis 4'' bezeichnet und dabei berücksichtigt, dafs, den gemachten Annahmen gemäfs, in S_1 und S_2 gleiche Gewichte angreifen, so mufs der Gesamtschwerpunkt stets in der in der Mitte der den jeweiligen Brückenstellungen entsprechenden Verbindungsgeraden liegen. Die in dieser Art bestimmte Gesamtschwerpunktsbahn ist in den Fig. 92 bis 95 eingetragen und giebt einen anschaulichen Überblick über den beim Aus- und Eindrehen der Brücke erforderlichen Gesamtarbeitsaufwand $2lp \,.\, t_4$ und die dabei erfolgenden Bewegungsvorgänge; hierbei bezeichnet p das Gewicht eines Klappenarmes auf die Längeneinheit und t_4 den lotrechten Abstand des Punktes 4'' der Gesamtschwerpunktsbahn 1'' bis 4'' von der Drehaxe A. Ohne weiteres geht für das in Fig. 92 gewählte Verhältnis von h und h_1 hervor, dafs die geschlossene Brücke das Bestreben hat, sich zu öffnen, und dafs sie bei dieser Bewegung mit gröfster Geschwindigkeit in die Endstellung gelangen würde. Umgekehrt benötigt die Anordnung Fig. 93 des gröfsten Kraftaufwandes beim Beginn des Öffnens, kann aber dann während des gröfseren Teiles der Bewegung mit verhältnismäfsig geringem Kraftaufwand bis in die Schlufsstellung, in die sie auch ohne grofse Stofswirkung einläuft, weiter

bewegt werden. Bei der in Fig. 94 dargestellten Anordnung wird beim vollständigen Öffnen der Brücke die Gesamtarbeit Null verrichtet; hierfür mufs $h_1 = \frac{L}{3}$ gemacht werden. Es wird näher begründet, dafs gleichwohl nicht diese letztere, sondern die in Fig. 93 dargestellte Gruppe von Faltbrücken für die Ausführung am besten sich eignet. Fig. 95 giebt die Anordnung mit Berücksichtigung der körperlichen Abmessungen des Bauwerkes; als gegebene Grundmafse sind in der Regel folgende anzusehen: die Länge $L = \overline{G_0 A}$, der Abstand i von der Lotrechten durch A (mafsgebend für die Durchfahrtsweite) und die Höhe d, damit die Brücke nicht in die Wasserlinie taucht.

Fig. 92.

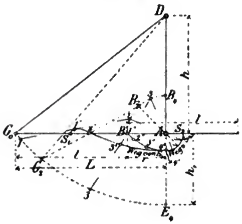


Fig. 93.

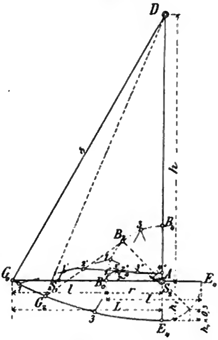


Fig. 94.

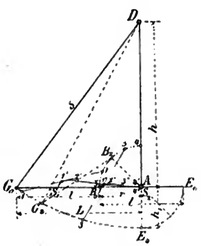
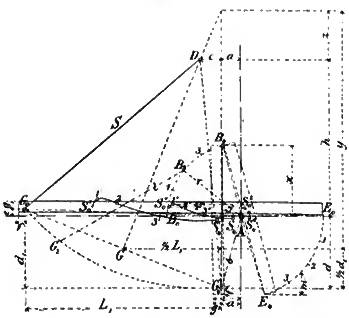


Fig. 95.



Die zwischen diesen Grundmafsen und den übrigen Abmessungen des Bauwerkes erforderlichen Beziehungen werden auf analytischem Wege abgeleitet. Aus dem vom Gesamtschwerpunkt zurückgelegten Weg S_0'' bis S_4'' ersieht man, dafs beim Öffnen zuerst die Brücke um den Betrag t_2 gehoben werden mufs, dann sich aber von selbst öffnet und dabei um den Betrag t_3 niedersinkt, aber dabei leicht gebremst werden kann, da der Schwerpunkt zuletzt auf eine verhältnismäfsig lange Strecke eine nahezu wagrechte Bahnrichtung einschlägt. Das Schliefsen erfordert (siehe t_3) einen beträchtlichen Kraftaufwand.

22. Th. Landsberg, Klappbrücke über den Chicago-Flufs im Zuge der Van Buren-Strafse in Chicago. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 863, mit Abb. und Taf. 18. Der

Verfasser bespricht den Bewegungsvorgang beim Öffnen und Schliefsen dieser Brücke und zeigt, in welcher Weise die angeordnete Schwerpunktslage des vorderen und hinteren Klappenarmes in Beziehung auf die in wagrechter Ebene sich bewegende Drehaxe ein beim Öffnen der Brücke verlangsamendes Drehmoment hervorruft.

23. L. Geusen, Über einige einfache Beziehungen zwischen den Momenten statisch bestimmter und statisch unbestimmter gerader Träger von konstantem Trägheitsmoment. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1895, S. 403, mit Abb. Von der Grundgleichung über den Kleinstwert der Formänderungsarbeit ausgehend werden unter anderem auch die wichtigsten Bestimmungsgröfsen zur Berechnung des durchlaufenden Trägers über 2 Öffnungsfelder (gleicher und verschiedener Länge) gegeben.

24. A. Francke, Die elastische Linie des Balkens. Zeitschr. f. Bauw. 1895, S. 439, mit Abb. (auch als erweiterter Sonderdruck erschienen). Bisher ist es fast ausschliefslich üblich, die Gleichung der elastischen Linie aus der bekannten Differentialgleichung $\frac{d^2 y}{d x^2} = \frac{M_x}{E \Theta_x}$ durch zweimalige Integration und nachträgliche Bestimmung der Integrationsfestwerte der Grenzen der einzelnen Strecken abzuleiten. Der Verfasser empfiehlt das entgegengesetzte Verfahren und giebt durch vorherige Wahl einer zweckmäfsigen Form den analytischen Gleichungen eine Gestalt, welche die nachträgliche Bestimmung derartiger Festwerte entbehrlich macht. Es wird der Balken mit seinen sämtlichen Belastungen und inneren Kräften (Auflagerdrücke werden als negative Einzellasten eingeführt) als etwas gegebenes Einheitliches aufgefafst und die Abhängigkeit, in welcher je zwei analytische Formeln der elastischen Verhältnisse zweier Nachbarstrecken stehen, von vornherein in der Form der analytischen Formeln zum Ausdruck gebracht. Die Grundgleichung kann unter der Voraussetzung, dafs die Streckenlasten ganze algebraische Funktionen der Länge x sind, folgende allgemeine Form erhalten:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + a_5 x^5 \dots$$

oder bei Annahme eines unveränderlichen Trägheitsmomentes für den ganzen betrachteten Träger

$$y = y_0 + \varphi_0 . x + \frac{1}{EJ}\left(-M \frac{x^2}{2} + Q \frac{x^3}{6} + p \frac{x^4}{24} + \frac{d p}{d x} . \frac{x^5}{120} + \dots\right)$$

hierin bedeutet:

y_0 die Einsenkungstiefe, $\varphi_0 = \frac{d y}{d x} = a_1$ die Neigungstangente, $2 a_2 E J = E J . \frac{d^2 y}{d x^2} = -M$ das Biegungsmoment, $6 a_3 E J = E J . \frac{d^3 y}{d x^3} = Q$ die innere Querkraft, $24 a_4 E J = E J . \frac{d^4 y}{d x^4} = p$ die Belastung für die Längeneinheit und $120 a_5 E J = E J . \frac{d^5 y}{d x^5} = \frac{d p}{d x}$ die Änderungsgröfse von p, also die Neigungstangente der diese Streckenlast darstellenden Kurve. Den Träger nach oben hohl biegende Momente M und nach abwärts wirkende Querkräfte Q werden als positive Gröfsen in die Rechnung eingeführt.

Kennzeichnet man die einzelnen Strecken, die also durch irgend welche Stetigkeitsunterbrechungen (z. B. ein Moment, eine Last, einen Auflagerdruck, eine Änderung in der Streckenlast, ein Gelenk) abgegrenzt und geschieden sind, durch die Zeichen I, II ... und bezeichnet man die die elastische Durchbiegung darstellende, an den Unstetigkeitsstellen sprungweise sich ändernde Funktion y dementsprechend für die einzelnen Strecken mit $y = y_{\text{I}}$, $y = y_{\text{II}} \dots$, so müssen je 2 Gleichungen zweier nachbarlicher Strecken, z. B. die Gleichungen $y = y_{\text{I}}$, $y = y_{\text{II}} \dots$ im gemeinsamen Grenzpunkt ihrer Giltigkeit widerspruchsfrei sein. Dies wird erreicht durch einfache allgemeine Festsetzung des Gleichungsunterschiedes: $\Delta y = y_{\text{II}} - y_{\text{I}}$, welcher der Unstetigkeit des Grenzpunktes entspricht, und die Gesamtheit aller einzelnen Gleichungen y wird dementsprechend einheitlich als eine bestimmte Gleichungsfolge aufgefafst, so zwar, dafs der auf einer bestimmten, vor dem Unstetigkeitspunkte belegenen Strecke giltigen Gleichung y stets lediglich ein bestimmtes Gleichungsglied Δy hinzuzusetzen ist, um die für die nächste, dem Unstetigkeitspunkte folgende Strecke giltige Gleichung zu erhalten. Man erhält also für den Balken, mit allen Kräften von einem bis zum andern Ende, eine sofort und unvermittelt niederzuschreibende Gleichung, in welcher die Grenzen der Giltigkeit je durch ein Komma gekennzeichnet sind.

Nach dieser sehr übersichtlichen Methode wird der beliebig, stetig oder unstetig belastete Balken mit unveränderlichem und mit sprungweise veränderlichem Trägheitsmoment, die Stetigkeitsunterbrechung durch Scharniere, das Zusammenfallen verschiedener Ursachen der Un-

stetigkeit an einem und demselben Punkte, der Widerstand der Stützen gegen Drehung und der Balken mit stetig veränderlichem Trägheitsmoment behandelt, wobei zu beachten ist, dafs im letzten Fall von der Gleichung $EJ.\frac{d^2 y}{d x^2} = -M_x$ und nicht von der in diesem Fall ungiltigen Gleichung $EJ.\frac{d^4 y}{d x^4} = p$ ausgegangen werden mufs.

Ein weiteres Eingehen in diese fruchtbare Methode an dieser Stelle überschreitet den Rahmen vorliegenden Heftes; der folgende Anhang bietet jedoch Gelegenheit, deren Anwendung auf besondere Aufgaben klar zu legen.

25. M. Merriman, The reactions of partially continous draw bridges. Engineering News 1895 II, S. 150, mit Abb. Der Verfasser giebt Endformeln zur Berechnung verschiedener, in Nordamerika üblicher Typen von Drehbrücken-Hauptträgern (in anderer, wesentlich allgemeiner Weise finden sich dieselben im Anhang entwickelt).

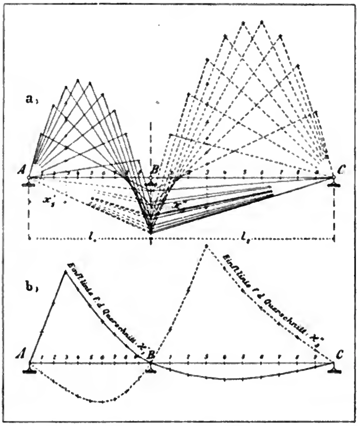
Ebendasselbe von demselben Autor. Railroad Gaz. 1895, S. 585, mit Abb.

M. Merriman, Determining the deflection of swing bridges. Engineering News 1895 II, S. 151, mit Abb. Anwendung der bekannten Mohr'schen Methoden auf einen Fachwerkträger.

26. Whited, The moments of stresses in swing-spans with 4 supports. Engineering News 1895 II, S. 280. Der Verfasser weist nach, dafs die im Handbuch von Johnson, Bryan und Turneanre auf S. 194 gegebenen Formeln unrichtig sind. Die Formel mufs richtig lauten $M_2 = -P l_1^2 \frac{k - k^3}{2(l_1 + 3 l_2 + l_3)}$ anstatt $M_2 = -P l^2 \frac{k - k^3}{2 l + 3 l_2}$. (Vergleiche Litteraturnachweis: Werke allgemeinen Inhaltes S. 93, No. 2 und S. 104, No. 12.)

27. A. Cart et L. Portes, Calcul des ponts métalliques à poutres droites à une ou plusieurs travées par la méthode des lignes d'influence. Paris 1895, 291 Seiten, mit 2 Tafeln. Das Buch ist mit Rücksicht auf die seit dem 29. August 1891 in Frankreich in Kraft getretene neue Brückenverordnung geschrieben und bezweckt, die Berechnung der durchlaufenden Träger auch bei Belastung durch Einzellastensysteme mit wenig Zeitaufwand durchführen zu können. Die Tabellen sind durchaus unter Voraussetzung eines unveränderlichen Trägheitsmomentes aufgestellt. Bei der ersten überschläglichen Querschnittsbestimmung der Hauptträger ungleicharmiger Drehbrücken können die Tabellen auf S. 115 bis 135 und S. 207 bis 217 gute Dienste leisten. Aus ersteren kann man die unter einer wandernden Einzellast auftretenden Momente zusammentragen (Fig. 96 *a*) und hieraus unmittelbar die Einflufslinien für alle Trägerquerschnitte aufzeichnen (Fig. 96 *b*). Hierbei ist der erstgenannte Tabellenteil (Momente) für alle Verhältnisse $\left(\frac{l_1}{l_2}\right) = 0{,}50$ bis 1,50, um je 0,05 fortschreitend, der zweitgenannte Tabellenteil (Querkräfte) für $\frac{l_1}{l_2} = 0{,}50$ bis 1,50, um je 0,10 fortschreitend, durchgerechnet. Der Anhang des Buches enthält die Vorschriften vom 29. August 1891 und Ausführungsanweisungen.

Fig. 96.



28. G. Barkhausen, Klappbrücke mit wagrechtem Schwerpunktswege. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1896, S. 806, mit Abb. Der Verfasser zeigt zuerst die Bestimmung der Leitbahn *T* (Fig. 67*a* des vorliegenden Heftes) auf graphischem und analytischem Wege.

IX. Anhang.

Kurze Entwickelung einiger einfacher Formeln für den durchlaufenden Träger (mit Bezug auf dessen Anwendung bei beweglichen Brücken) auf einheitlicher Grundlage (Francke'sche Gleichung).

A. Unveränderliches Trägheitsmoment J.

1. Der über 2 ungleich lange Öffnungsfelder l und $n\,l$ durchlaufende Träger $A\,C\,B$ (Fig. 76a).

a) Die Stützen A, C, B liegen in einer Geraden.

Bezeichnet man mit E die Elasticitätsziffer, mit P die wandernde Einzellast und mit A, C, B die durch diese Einzellast hervorgerufenen Stützenwiderstände, führt man ferner nach abwärts gerichtete Lasten (die Stützenwiderstände hierbei als negative Lasten eingeführt), sowie den Balken nach oben hohl krümmende Biegungsmomente positiv in die Rechnung ein, so kann man nach Francke[33]) unvermittelt für die in Fig. 76a dargestellte Laststellung P im Öffnungsfeld $A\,C$ folgende Grundgleichung 1 anschreiben, wobei die Giltigkeitsgrenzen für die einzelnen Strecken I, II ... derselben je durch ein Komma gekennzeichnet werden:

$$E\,J\,.\,y = E\,J\,.\,\varphi_a\,x - \frac{1}{6}\,A\,x^3_{\underset{\mathrm{I}}{,}} + \frac{1}{6}\,P(x-\beta\,l)^3_{\underset{\mathrm{II}}{,}} - \frac{1}{6}\,C(x-l)^3_{\underset{\mathrm{III}}{,}} \quad \ldots\ldots \quad 1.$$

aus der durch fortgesetzte Differentiation die folgenden 3 Gleichungen erhalten werden:

$$E\,J\,.\,\frac{d\,y}{d\,x} = E\,J\,.\,\varphi_a - \frac{1}{2}\,A\,x^2_{\underset{\mathrm{I}}{,}} + \frac{1}{2}\,P(x-\beta\,l)^2_{\underset{\mathrm{II}}{,}} - \frac{1}{2}\,C(x-l)^2_{\underset{\mathrm{III}}{,}} = E\,J\,.\,tang\,\varphi_x = E\,J\,.\,\varphi_x \quad . \quad 2.$$

$$E\,J\,.\,\frac{d^2\,y}{d\,x^2} = -\,A\,x_{\underset{\mathrm{I}}{,}} + P(x-\beta\,l)_{\underset{\mathrm{II}}{,}} - C(x-l)_{\underset{\mathrm{III}}{,}} = -\,M_x \quad \ldots\ldots \quad 3.$$

$$E\,J\,.\,\frac{d^3\,y}{d\,x^3} = -\,A_{\underset{\mathrm{I}}{,}} + P_{\underset{\mathrm{II}}{,}} - C_{\underset{\mathrm{III}}{,}} = +\,Q_x \quad \ldots\ldots \quad 4.$$

In diesem Gleichungssystem bezeichnet y die Ordinate der elastischen Linie, $\frac{d\,y}{d\,x} = \varphi_x$ die Tangente an dieselbe, M_x das Biegungsmoment und Q_x die innere Querkraft an einem in der Entfernung x vom linken Auflagerpunkt A gelegenen Trägerquerschnitt. A ist auch der Ursprung des Koordinatensystems x, y (Fig. 76a).

Führt man die Laststellung p und die betrachtete Trägerstelle x als Bruchteile der Stützweite l ein, setzt man also $p = \beta\,l$ und $x = \xi\,l$, so lassen sich die Gleichungen 1 bis 4 wie folgt umformen:

$$y = l\,\varphi_a\,\xi + \frac{l^3}{6\,E\,J}\,[-\,A\,\xi^3_{\underset{\mathrm{I}}{,}} + P(\xi-\beta)^3_{\underset{\mathrm{II}}{,}} - C(\xi-1)^3_{\underset{\mathrm{III}}{,}}] \quad \ldots\ldots \quad 1^a.$$

$$\frac{d\,y}{d\,x} = tang\,\varphi_x = \varphi_x = \varphi_a + \frac{l^2}{2\,E\,J}\,[-\,A\,\xi^2_{\underset{\mathrm{I}}{,}} + P(\xi-\beta)^2_{\underset{\mathrm{II}}{,}} - C(\xi-1)^2_{\underset{\mathrm{III}}{,}}] \quad . \quad . \quad 2^a.$$

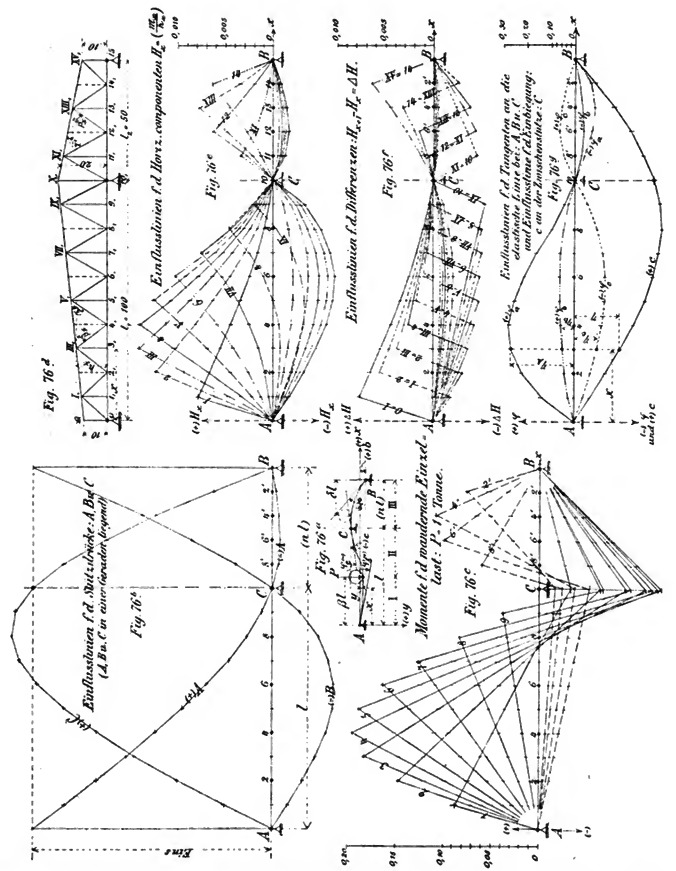
$$E\,J\,.\,\frac{d^2\,y}{d\,x^2} = l\,[-\,A\,\xi_{\underset{\mathrm{I}}{,}} + P(\xi-\beta)_{\underset{\mathrm{II}}{,}} - C(\xi-1)_{\underset{\mathrm{III}}{,}}] = -\,M_x \quad \ldots\ldots \quad 3^a.$$

$$E\,J\,.\,\frac{d^3\,y}{d\,x^3} = -\,A_{\underset{\mathrm{I}}{,}} + P_{\underset{\mathrm{II}}{,}} - C_{\underset{\mathrm{III}}{,}} = +\,Q_x \quad \ldots\ldots \quad 4^a.$$

Von den zu bestimmenden Gröfsen y, φ_x, M_x und Q_x sind unter den gemachten Voraussetzungen blofs die beiden ersten abhängig von dem Trägheitsmoment J und der Elasticitätsziffer E; sie sollen deshalb der Kürze wegen die elastischen, und die hiervon unabhängigen Gröfsen M_x und Q_x die statischen Gröfsen genannt werden.

Da nach der Annahme, mit Bezug auf Fig. 76a, $-\,c = +\,b = 0$ zu setzen ist, so ergeben sich für die zunächst unbekannten Gröfsen φ_a, A und C die Bedingungen $[y]_{\xi=1} = 0$, $[y]_{\xi=n+1} = 0$ und da der Träger bei B frei drehbar aufgelagert ist, $\left[E\,J\,.\,\frac{d^2\,y}{d\,x^2}\right]_{\xi=n+1} = 0$. Die letzte Bedingung liefert unmittelbar die Gleich-

[33]) Siehe Litteraturnachweis, theoretische Untersuchungen betreffend, No. 24.



gewichtsgleichung für Drehung des Kräftesystemes um das rechte Auflager B, nämlich: $-A(n+1) + P(n+1-\beta) - Cn = 0$.

Nach Durchführung der Rechnung erhält man schliefslich für alle Laststellungen zwischen $\xi = 0$ und $\xi = 1$ (A bis C) die Einflufswerte für die Auflagerdrücke aus den Gleichungen

Fig. 76 *b*

$$A = P\frac{\beta^3 - \beta(2n+3) + 2(n+1)}{2(n+1)} \qquad 5.$$

$$C = P\frac{\beta(2n+1) - \beta^3}{2n} \qquad 6.$$

$$B = P - (A + C) \qquad 7.$$

Die Einflufswerte für die Tangenten an die elastische Linie an den Auflagerpunkten A, C u. B aus:

Fig. 76 g

$$\left\{\begin{array}{ll} tang\,\varphi_a = \varphi_a = \frac{l^2}{6\,EJ}(\eta_a . P) = \frac{l^2}{6\,EJ} \cdot \frac{\beta^3(2\,n+3) - 6\,\beta^2(n+1) + \beta(4\,n+3)}{2\,(n+1)}\,P & 8. \\ tang\,\varphi_c = \varphi_c = \frac{l^2}{6\,EJ}(\eta_c . P) = \frac{l^2}{6\,EJ} \cdot \left[\frac{n}{n+1}(\beta^3 - \beta)\right] P & 9. \\ tang\,\varphi_b = \varphi_b = \frac{l^2}{6\,EJ}(\eta_b . P) = \frac{l^2}{6\,EJ} \cdot \left[\frac{n}{2\,(n+1)}(\beta - \beta^3)\right] P = -\frac{1}{2}\varphi_c & 10. \end{array}\right.$$

In ganz ähnlicher Weise finden sich für alle Laststellungen zwischen $\xi = 1$ und $\xi = n + 1$ mit Bezug auf Fig. 76 a die Werte:

Fig. 76 b

$$\left\{\begin{array}{ll} A = P(\delta^3 - n^2\,\delta)\,\frac{1}{2\,n\,(n+1)} & 11. \\ C = P\,[\delta\,n\,(n+2) - \delta^3]\,\frac{1}{2\,n^2} & 12. \\ B = P - (A + C) & 13. \end{array}\right.$$

Fig. 76 g

$$\left\{\begin{array}{ll} \varphi_a = \frac{l^2}{6\,EJ}(\eta_a . P) = \frac{l^2}{6\,EJ}[\delta^3 - n^2\,\delta]\,\frac{1}{2\,n\,(n+1)}\,P & 14. \\ \varphi_c = -2\,\varphi_b & 15. \\ \varphi_b = \frac{l^2}{6\,EJ}(\eta_c . P) = \frac{l^2}{6\,EJ} \cdot \frac{-\delta^3(3\,n+2) + \delta^2(n+1)\,6\,n - \delta\,(3\,n+4)\,n^2}{2\,n\,(n+1)}\,P & 16. \end{array}\right.$$

Sind die Auflagerkräfte A, C und B aus obigen Gleichungen gefunden, so ergeben sich unmittelbar die Biegungsmomente, wenn $\xi = \beta$, für alle Laststellungen zwischen A und C aus

$$\mathfrak{M}_x = l . A\,\beta \quad \text{(Fig. 76 } c) \qquad 17.$$

und zwischen C und B aus

$$\mathfrak{M}_x = l . B\,\delta \quad \text{(Fig. 76 } c) \qquad 18.$$

Zur Vereinfachung der Rechnung dient nachstehende Tabelle der nur einmal zu berechnenden Verhältniszahlen β (bezw. δ):

$\frac{x}{l} = \beta =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\beta^2 =$	0,01	0,04	0,09	0,16	0,25	0,36	0,49	0,64	0,81	1,00
$\beta^3 =$	0,001	0,008	0,027	0,064	0,125	0,216	0,343	0,512	0,729	1,000

b) Änderung der Höhenlage der Mittelstütze C.

Wird die Mittelstütze des ursprünglich in einer Geraden gelagerten, nun unbelastet gedachten Trägers um den Betrag c gesenkt — für eine Überhöhung derselben, die bei Drehbrücken allein in Betracht kommt, wäre c negativ einzuführen — so geht die Gleichung 1, da $P = 0$ zu setzen ist, über in

$$EJ . y = EJ . \varphi_a\,x - \frac{1}{6}\,A\,x^3_{\text{I u. II}},\ - \frac{1}{6}\,C\,(x - l)^3_{\text{III}},$$

Zur Bestimmung der 3 Unbekannten φ_a, A und C dienen die Bedingungsgleichungen

$$[y]_{\xi=1} = c, \quad [y]_{\xi=n+1} = 0 \quad \text{und} \quad \left[EJ . \frac{d^2\,y}{d\,x^2}\right]_{\xi=n+1} = 0;$$

letztere giebt die auch unmittelbar niederzuschreibende Bedingungsgleichung: $-\,C = A\,\frac{n+1}{n}$. Hieraus finden sich die durch Senkung der Mittelstütze um den Betrag c an den beiden Endauflagern hervorgerufenen Auflagerkräfte:

$$A = \frac{3\,EJ}{n\,l^3}\,c \quad \text{und} \quad B = \frac{A}{n} = \frac{3\,EJ}{n^2\,l^3}\,c \qquad 19.$$

und die Kraft, die in C lotrecht nach aufwärts wirkend angebracht werden müfste, um diese Senkung wieder aufzuheben, aus der Gleichung:

$$C = \frac{3\,EJ}{n^2\,l^3}\,(n + 1)\,c \qquad 20.$$

Der Verlauf der Biegungslinie selbst ergiebt sich aus den beiden Gleichungen:

Fig. 76 g

für alle Querschnitte zwischen $\xi = 0$ bis 1 aus

$$\eta_x = \frac{1}{2\,n}\,[\xi\,(2\,n + 1) - \xi^3]\,c$$

für alle Querschnitte zwischen $\xi = 1$ bis $(n + 1)$ aus

$$\eta_x = \frac{1}{2\,n^2}\,[\xi^3 - 3\,(n + 1)\,\xi^2 + (2\,n^2 + 4\,n + 3)\,\xi - (n + 1)]\,c \qquad 21.$$

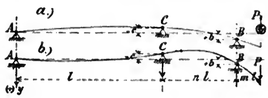
Diese η_x Linie ist zugleich die Einflufslinie für die Einbiegung am Punkt C des auf den Stützen A und B frei aufgelagerten Trägers von der Stützweite $l(n+1)$, hervorgerufen durch die wandernde Einzellast P, wenn $C = P$, mithin $c = \frac{n^2 l^3}{n+1} \cdot \frac{P}{3EJ}$ gewählt wird. Für $n = 1$ und $L = l(n+1) = 2l$ erhält man den bekannten Wert $c = \frac{L^3}{48EJ} \cdot P$.[34])

2. Der durchlaufende Träger über 3 Stützen mit überhängendem Ende und ungleicher Höhenlage der ersteren (vergl. Fig. 97).

Wird der ursprünglich wagrecht aufgelagerte Balken an seinem überhängenden Ende mit der Einzellast P belastet, die Stütze B um den Betrag $+b$ gesenkt und gleichzeitig die Stütze C um den Betrag $-c$ gehoben, so lautet die Ausgangsgleichung:

$$EJy = EJ\varphi_a x - \frac{1}{6} A \underset{l}{x^3,} - \frac{1}{6} C \underset{l(n+1)}{(x-l)^3,} \quad \ldots \quad 22.$$

Fig. 97.



Die Bedingungen zur Bestimmung der 3 Unbekannten φ_a, A und C heifsen: $[y]_{x=l} = -c$ (hieraus findet sich φ_a), ferner $[y]_{x=l(n+1)} = +b$ und $\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2}\right]_{x=l(n+1)} = +Pml$.

Schliefslich ergeben sich die Auflagerkräfte A und C aus den Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{1}{2n(n+1)}\left[Pmn^2 - \frac{6EJ[b+c(n+1)]}{l^3}\right] \\ C &= -\frac{1}{n}[A(n+1) + Pm] \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 23.$$

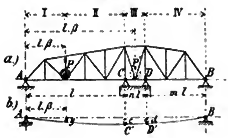
Führt man die so gefundenen Werte von A und C in die Gleichung 22 ein, so kann man unmittelbar den Verlauf der elastischen Linie (Fig. 97 b) angeben, sowie für jeden beliebigen Querschnitt durch fortgesetzte Differentiation mit Beachtung der entsprechenden Grenzen die Tangentenlage, das Moment und die Querkraft ermitteln.

3. Der durchlaufende Träger über 3 ungleiche Öffnungsfelder (l, ln und lm); die Stützen liegen in einer Geraden.

α) Last P in dem Öffnungsfeld AC. Hierfür ergiebt sich unmittelbar die Grundgleichung:

$$\left.\begin{aligned} EJy &= EJ\varphi_a x - \frac{1}{6} A \underset{\mathrm{I}}{x^3,} + \frac{1}{6} \underset{\mathrm{II}}{P(x - l\beta)^3,} \\ &- \frac{1}{6} \underset{\mathrm{III}}{C(x-l)^3,} - \frac{1}{6} \underset{\mathrm{IV}}{D[x-(n+1)l]^3,} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 24.$$

Fig. 98.



Zur Ermittelung der 4 Unbekannten φ_a, A, C und D bestehen die Bedingungen:

$$[y]_{x=l} = [y]_{x=l(n+1)} = [y]_{x=l(1+n+m)} = 0$$

$$\text{und} \quad \left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2}\right]_{x=l(1+n+m)} = 0;$$

führt man die Abscisse x der betrachteten Trägerstelle und die Entfernung $\overline{AP}$ als Bruchteile der Stützweite l ein, setzt man also $AP = l\beta$ und $x = \xi l$, d. h. $\xi = \frac{x}{l}$, so läfst sich die Gleichung 24 auch schreiben:

$$6EJy = 6EJ\varphi_a \cdot \xi l - [\underset{\mathrm{I}}{A\xi^3,} - \underset{\mathrm{II}}{P(\xi-\beta)^3,} + \underset{\mathrm{III}}{C(\xi-1)^3,} + \underset{\mathrm{IV}}{D(\xi-n-1)^3}]\, l^3 \quad \ldots \quad 24^a.$$

$$\text{hieraus:} \quad \frac{dy}{dx} = \varphi_a - \frac{l^2}{2EJ}[\underset{\mathrm{I}}{A\xi^2,} - \underset{\mathrm{II}}{P(\xi-\beta)^2,} + \underset{\mathrm{III}}{C(\xi-1)^2,} + \underset{\mathrm{IV}}{D(\xi-n-1)^2,}] = \varphi_x \quad \ldots \quad 25.$$

$$EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = -l[\underset{\mathrm{I}}{A\xi,} - \underset{\mathrm{II}}{P(\xi-\beta),} + \underset{\mathrm{III}}{C(\xi-1),} + \underset{\mathrm{IV}}{D(\xi-n-1),}] = -M_x \quad \ldots \quad 26.$$

$$EJ \cdot \frac{d^3 y}{dx^3} = -\underset{\mathrm{I}}{A,} + \underset{\mathrm{II}}{P,} - \underset{\mathrm{III}}{C,} - \underset{\mathrm{IV}}{D,} = +Q_x \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 27.$$

34) „Hütte“, Taschenbuch des Ingenieurs, 1893 I, S. 333.

Da für $\xi = 1$, $y = 0$ wird:

$$6\,EJ\varphi_a = l^2 A - P(1-\beta)^3 l^2 \quad \ldots \quad 28.$$

Dieser Wert von $6\,EJ\varphi_a$, in Gleichung 24[a] eingesetzt, giebt für die Bedingung, dafs für $\xi = n+1$, $y = 0$ sein mufs: $A(n^3 + 3n^2 + 2n) + Cn^3 = P[(n+1-\beta)^3 - (n+1)(1-\beta)^3]$

oder

$$A a_1 - C c_1 = P p_1, \quad \ldots \quad 29.$$

wenn zur Abkürzung: $n^3 + 3n^2 + 2n = (n+1)(n+2)n = a_1$; $n^3 = c_1$ und $[(n+1-\beta)^3 - (n+1)(1-\beta)^3] = p_1$ gesetzt wird.

Die weitere Bedingung, dafs für $\xi = 1 + n + m$, $y = 0$ wird, giebt die Gleichung:

$$\left.\begin{array}{l} A(1+n+m) - P(1+n+m)(1-\beta)^3 - A(1+n+m)^3 \\ + P(1+n+m-\beta)^3 - C(m+n)^3 - Dm^3 = 0 \end{array}\right\} \quad \ldots \quad 30.$$

und die Bedingung, dafs für $\xi = 1 + n + m$, $EJ.\frac{d^2 y}{d x^2} = 0$ sein mufs, nach Gleichung 26 die weitere Beziehung:

$$A(1+n+m) - P(1+n+m-\beta) + C(n+m) + Dm = 0 \quad \ldots \quad 31.$$

Multipliziert man letztere mit m^2 und addiert sie zu Gleichung 30, so ergiebt sich

$$A[(1+n+m) + (1+n+m)m^2 - (1+n+m)^3] + C[m^2(n+m) - (n+m)^3]$$
$$= P(1+n+m)(1-\beta)^3 + (1+n+m-\beta)m^2 - (1+n+m-\beta)^3]$$

oder:

$$A a_2 + C c_2 = P p_2, \quad \ldots \quad 32.$$

wenn man zur Abkürzung: $[(1+n+m) + (1+n+m)m^2 - (1+n+m)^3] = a_2$; $[m^2(n+m) - (n+m)^3] = c_2$ und $[(1+n+m)(1-\beta)^3 + (1+n+m-\beta)m^2 - (1+n+m-\beta)^3] = p_2$ setzt.

Aus den Gleichungen 29 und 32 ergeben sich die gesuchten Auflagerkräfte A und C:

$$A = \frac{c_2 p_1 - c_1 p_2}{a_1 c_2 - a_2 c_1} \quad \text{und} \quad C = \frac{a_1 p_2 - a_2 p_1}{a_1 c_2 - a_2 c_1} \quad \ldots \quad 33.$$

Hierauf lassen sich die noch fehlenden Stützendrücke D und B aus den Gleichungen 30 und 27 berechnen.

Sind die Werte von A, C und D derart gefunden, so können mittels der Gleichungen 24[a] bis 28 für jeden beliebigen Querschnitt, der innerhalb der Öffnung AC liegt, die statischen und elastischen Gröfsen unmittelbar berechnet werden.

β) Last P im Öffnungsfeld CD (Fig. 98). Auf diesen Belastungsfall soll nicht näher eingegangen werden, weil die Fachquerträger C und D fast stets durch einen Längsträger derart verbunden sind, dafs nur Knotenlasten bei C und D auftreten, die unmittelbar von den Auflagern aufgenommen werden. Die Ausgangsgleichung hierfür würde lauten:

$$EJy = EJ\varphi_a x - \frac{1}{6}Ax^3_{\text{I}}, - \frac{1}{6}C(x-l)^3_{\text{II}}, + \frac{1}{6}P(x-l\beta)^3_{\text{III}}, - \frac{1}{6}D[x-(n+1)l]^3_{\text{IV}}, \quad \ldots \quad 34.$$

4. Der durchlaufende Träger über 3 Öffnungsfelder mit gleich grofsen Aufsenöffnungen. Last P im Fach AC.

Setzt man in Fig. 98: $m = 1$ und ändert dementsprechend die Werte der Gleichungen 29 und 31, so ergeben sich für die 4 Stützendrücke nach entsprechenden Umformungen schliefslich folgende Gleichungen:

$$\left.\begin{array}{l} A = \frac{P}{3n^2+8n+4}[3n^2+8n+4-\beta(3n^2+10n+6)+\beta^3(n+1)2] \\ C = \frac{P}{(3n^2+8n+4)n}[\beta(3n^3+10n^2+9n+2)-\beta^3(2n^2+5n+2)] \\ D = \frac{P}{(3n^2+8n+4)n}(n^2+3n+2)(\beta^3-\beta) \\ B = \frac{P}{3n^2+8n+4}(\beta-\beta^3)n \end{array}\right\} \quad \ldots \quad 35.$$

Addiert man diese 4 Gleichungen, so mufs der Gleichung 27 Genüge geleistet werden, d. h. es mufs deren Summe P ergeben.

Ferner findet sich für $\beta = 0$; $A = P$, $C = D = B = 0$, und für $\beta = 1$, $A = 0$, $C = P$, $D = B = 0$.

Beispiele:

a) Es sollen für eine 94,35 m lange ungleicharmige Drehbrücke, deren Aufsenöffnungen $l = 55{,}50$ und $ml = 33{,}30$ m, deren Pfeilerfach $nl = 5{,}55$ m ist, wenn die Einzellast P in der Entfernung

$x = 27{,}75$ m vom Auflagerpunkte des linken, langen Armes steht, folgende Gröfsen berechnet werden: Sämtliche Auflagerdrücke, die Einbiegung an der Laststelle und die Tangenten an die elastische Linie bei sämtlichen Auflagerpunkten.

Die nur einmal zu berechnenden Formgröfsen a_1, a_2, c_1 und c_2 finden sich, da $n = 0{,}1$, $m = 0{,}6$ und $\beta = 0{,}5$ einzuführen ist:

$$a_1 = 1{,}1 \,.\, 2{,}1 \,.\, 0{,}1 = 0{,}2310; \quad a_2 = [(1 + 0{,}1 + 0{,}6) + 1{,}7 \,.\, 0{,}6^2 - 1{,}7^3] = -\,2{,}6010;$$

$$c_1 = 0{,}1^3 = 0{,}001; \quad c_2 = 0{,}6^2\,(0{,}1 + 0{,}6) - (0{,}1 + 0{,}6)^3 = -\,0{,}0910,$$

und die Belastungsgröfsen p_1 und p_2:

$$p_1 = (1{,}1 - \beta)^3 - 1{,}1\,(1 - \beta)^3 = (1{,}1 - 0{,}5)^3 - 1{,}1\,(1 - 0{,}5)^3 = 0{,}0785$$

und:

$$p_2 = 1{,}7\,(1 - \beta)^3 + (1{,}7 - \beta)\,0{,}6^2 - (1{,}7 - \beta)^3 = -\,1{,}0835.$$

In den letzteren Gleichungen ändert sich bei dem gegebenen Längenverhältnis der Öffnungsfelder mit dem Fortschreiten der Last P der Wert von β allein.

Führt man diese Werte in die Gleichungen 33 ein, so findet man $A = \frac{-\,6{,}060}{-\,18{,}42} = +\,0{,}329\,P$; $C = \frac{-\,46{,}11}{-\,18{,}42} = +\,2{,}503\,P$; aus Gleichung 31: $D \,.\, 0{,}6 = P\,(-\,0{,}329 \,.\, 1{,}7 + (1{,}7 - 0{,}5) - 2{,}503 \,.\, 0{,}7)$ oder $D = -\,1{,}852\,P$ und aus Gleichung 27: $B = P\,(1 - 0{,}329 - 2{,}503 + 1{,}852) = +\,0{,}020\,P$.

Die Einbiegung an der Laststelle findet sich, da nach Gleichung 28: $6\,EJ\,\varphi_a = l^2\,[0{,}329 - (1 - 0{,}5)^3]\,P = P\,l^2 \,.\, 0{,}204$, aus der Gleichung 24ᵃ: $y = \frac{P\,l^3}{6\,EJ} \,.\, [0{,}5 \,.\, 0{,}204 - 0{,}329 \,.\, 0{,}5^3] = \frac{P\,l^3}{EJ\,6} \,.\, 0{,}0609$, wobei $l = 55{,}5$ m zu setzen ist, und schliefslich die Tangenten an die elastische Linie an den Auflagerpunkten aus der Gleichung 25, da $\varphi_a = +\,\frac{P\,l^2}{6\,EJ}\,0{,}204$ gefunden wurde:

für $\xi = 1$; $\beta = 0{,}5$:

$$\varphi_c = \varphi_a - \frac{P\,l^2}{2\,EJ}\,[0{,}329 \,.\, 1^2 - (1 - 0{,}5)^2] = \frac{P\,l^2}{6\,EJ}\,[0{,}204 - 3\,(0{,}329 - 0{,}250)] = -\,\frac{P\,l^2}{EJ}\,0{,}00550;$$

für $\xi = (1 + n) = 1{,}1$; $\beta = 0{,}5$:

$$\varphi_d = \frac{P\,l^2}{6\,EJ}\,\{0{,}204 - 3\,[0{,}329 \,.\, 1{,}1^2 - (1{,}1 - 0{,}5)^2 + 2{,}503\,(1{,}1 - 1)^2]\} = +\,\frac{P\,l^2}{EJ}\,0{,}1102;$$

für $\xi = (1 + n + m) = 1{,}7$; $\beta = 0{,}5$:

$$\varphi_b = \frac{P\,l^2}{6\,EJ}\,\{0{,}204 - 3\,[0{,}329 \,.\, 1{,}7^2 - (1{,}7 - 0{,}5)^2 + 2{,}503\,(1{,}7 - 1)^2 - 1{,}852\,(1{,}7 - 1{,}1)^2]\} = -\,\frac{P\,l^2}{EJ}\,0{,}00105.$$

Bezüglich der Vorzeichen vergleiche Fig. 76 *a*.

b) Es sollen für eine gleicharmige Drehbrücke von 94,5 m Länge, deren jede Aufsenöffnung $l = 45$ m und deren Mittelöffnung $l\,n = 4{,}50$ m lang, die Auflagerkräfte bestimmt werden, wenn die Einzellast P in der Mitte der linken Aufsenöffnung steht.

Da $n = 0{,}1$ und $\beta = 0{,}5$, so finden sich aus den Gleichungen 35:

$$A = \frac{P}{0{,}03 + 0{,}8 + 4}\,[4{,}83 - \beta \,.\, 7{,}03 + \beta^3 \,.\, 2{,}2] = +\,0{,}329\,P;$$

$$C = \frac{P}{0{,}483}\,[\beta \,.\, 3{,}003 - \beta^3 \,.\, 2{,}52] = +\,2{,}457\,P;$$

$$D = \frac{P}{4{,}83}\,(0{,}125 - 0{,}5)\,2{,}31 = -\,1{,}794\,P$$

und:

$$B = \frac{P}{4{,}83}\,(\beta - \beta^3)\,0{,}1 = +\,0{,}008\,P.$$

(Prüfung: $P = A + C + D + B$.)

Sind diese Gröfsen gefunden, so können mittels der Gleichungen 24ᵃ bis 28 an jeder beliebigen Stelle des Trägers $A\,B$ die statischen und elastischen Gröfsen für diese Laststellung rasch berechnet werden.

5. Durchlaufender, symmetrischer Träger über 4 in einer Geraden liegenden Stützpunkte, dessen Pfeilerfach CD ein Querkraft-Nullfeld ist (amerikanische Drehbrücken). (Fig. 98.)

Die Last bewege sich innerhalb der Aufsenöffnung $A\,C$. Da der Voraussetzung gemäfs $m = 1$ ist, lautet die Grundgleichung:

$$EJ\,y = EJ\,\varphi_a \,.\, \xi\,l - \frac{1}{6}\,l^3\,[A\,\xi^3 - P\,(\xi - \beta)^3 + C\,(\xi - 1)^3 + D\,(\xi - n - 1)^3] \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 36.$$

Die Bedingungsgleichungen sind: $[y]_{\xi=1} = [y]_{\xi=n+1}$, $[y]_{\xi=n+2} = 0$. Die Bedingung für das Querkraft-Nullfeld ist gegeben durch: $\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{d x^2}\right]_{\xi=1} = \left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{d x^2}\right]_{\xi=n+1}$; hieraus folgt, dafs $A + C = P$ sein mufs.

Nach Durchführung der Rechnung erhält man schliefslich zur Bestimmung der Stützendrücke die Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{P}{4+6n}[4+6n-(5+6n)\beta+\beta^3] \\ C &= P - A \\ -D = +B &= \frac{P}{4+6n}(\beta-\beta^3) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 37.$$

Beispiel. Die Stützendrücke für das auf S. 115 behandelte Beispiel b sollen unter der Voraussetzung, das Pfeilerfach sei ein Querkraft-Nullfeld, bestimmt werden.

Nach Gleichung 37 erhält man:

$$A = \frac{P}{4{,}6}[4{,}6 - 5{,}6\,\beta + \beta^3] = 0{,}418\,P;\ C = 0{,}582\,P;\ D = -B = -0{,}082\,P.$$

Ein Vergleich der zuletzt gefundenen Stützendrücke mit den früher gefundenen zeigt, wie sehr durch die Anordnung des Querkraft-Nullfeldes über dem Pfeilerfach das Bestreben des Trägerpunktes D sich von dem Auflager daselbst abzuheben herabgemindert wurde. Aus der letzten der Gleichungen 37 geht ohne weiteres hervor, dafs angenähert für $\beta = 0{,}6$ dieser Auftrieb D seinen gröfsten Wert erreicht und zwar $= -\frac{P}{4{,}6}\,0{,}384 = -0{,}083\,P$ wird. Es ist daher, wenn die Auflagerung über dem Pfeiler mittels eines Rollenkranzes erfolgt, die Anordnung des Querkraft-Nullfeldes das beste Mittel, die durch Verkehrslast hervorgerufenen Pfeilerstützendrücke auf das kleinste Mafs zu bringen.

Alle übrigen statischen und elastischen Werte lassen sich nun für diese Trägeranordnung sehr einfach aus der Gleichung 36 ableiten.

6. Symmetrischer, gleicharmiger, über 4 Stützen durchlaufender Träger mit Gelenkpunkt in der Mitte des Trägersystemes. (Die Auflager jedes Hauptträgers liegen in einer Geraden.)

1. Belastungsfall. Die Last P steht innerhalb der Aufsenöffnung AB. Die Grundgleichung lautet:

$$EJy = EJ\varphi_a\,\xi\,l - \frac{1}{6}\,l^3\,[A\,\xi^3\underset{P}{,} - P(\xi-\beta)^3\underset{B}{,} + B(\xi-1)^3\underset{M}{,}] + \mu(\xi-2)\,l\underset{C}{,} - \frac{1}{6}\,Cl^3(\xi-3)\underset{D}{,} \quad \ldots \quad 38.$$

Die Giltigkeitsgrenzen sind durch P, $B \ldots D$ bezeichnet, und μ bedeutet den Unterschied der Neigungstangenten der beiden durch das Gelenk M verbundenen Innenöffnungen.[35])

Die Bedingungen $[y]_{\xi=1} = [y]_{\xi=3} = [y]_{\xi=4} = 0$, sowie $\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{d x^2}\right]_{\xi=2} = \left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{d x^2}\right]_{\xi=4} = 0$ genügen zur Bestimmung der 4 Unbekannten φ_a, A, B und C, und man erhält schliefslich die Auflagerkräfte aus den Gleichungen:

Fig. 99.



$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{1}{8}(8 - 9\beta + \beta^3)\,P \\ B &= \frac{1}{8}(10\beta - 2\beta^3)\,P \\ C &= -\frac{1}{4}(\beta - \beta^3)\,.\,P = -2D \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 39.$$

für $\beta = 0$ wird $A = P$; $B = C = D = 0$;
für $\beta = 1$ wird $A = C = D = 0$ und $B = P$.

2. Belastungsfall. Die Last P steht innerhalb der Innenöffnung BM. Aus der Grundgleichung:

$$\left.\begin{aligned} EJy = EJ\varphi_a\,\xi\,l &+ \frac{l^3}{6}\,[-A\,\xi^3\underset{B}{,} - B(\xi-1)^3\underset{P}{,} + P(\xi-2+\beta)^3\underset{M}{,}] \\ &+ \mu(\xi-2)\,l\underset{C}{,} - \frac{l^3}{6}\,C(\xi-3)^3\underset{D}{,} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 40.$$

---

[35]) A. Francke, Die elastische Linie des Balkens, S. 11 (Sonderdruck).

ergiebt sich in Verbindung mit den oben gegebenen 4 Bedingungsgleichungen, wenn $\beta'' = 1 - \beta'$ gesetzt wird (vergl. Fig. 99):

$$\left.\begin{aligned} A &= -\frac{1}{8}(6\beta'' - 3\beta''^2 + \beta''^3)P \\ B &= +\frac{1}{4}(4 + 2\beta'' - 3\beta''^2 + \beta''^3)P \\ C &= +\frac{1}{4}(2\beta'' + 3\beta''^2 - \beta''^3)P = -2D \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 41.$$

Für $\beta'' = 0$ wird $A = C = D = 0$ und $B = P$; und für $\beta'' = 1$ wird $A = D = -\frac{1}{2}P$ und $B = C = P$.

Beispiel. Für eine Doppeldrehbrücke von 60 m Trägerlänge, deren 1. Träger AM wagrecht und deren 2. Träger MD um 5% geneigt aufgelagert sei, sollen für die Laststellung $\beta'' = 0{,}5$, die Einbiegung am Gelenk M und die Tangente an die elastische Linie bei dem Pfeiler C bestimmt werden.

Für $\beta'' = 0{,}5$ ergeben die Gleichungen 41 die Stützendrücke $A = -0{,}297\,P$; $B = +1{,}094\,P$; $C = +0{,}406\,P$ und $D = -0{,}203\,P$.

Die Bedingung $[y]_{\xi=1} = 0$ liefert in Verbindung mit der Gleichung 40 aus:

$$0 = EJ\varphi_a l\xi - \frac{1}{6}l^3 A\xi^3$$

den Wert von:

$$\varphi_a = -\frac{l^2}{6EJ}0{,}297\,P = -\frac{l^2}{2EJ}0{,}099\,P$$

und die gesuchte Einbiegung am Gelenkpunkt für diesen Belastungsfall ergiebt sich nun, da $\xi = 2$ und $\beta' = \beta'' = 0{,}5$, aus der Gleichung:

$$y = \frac{l^3 P}{6EJ}[-0{,}297 \,.\, 2 + 0{,}297 \,.\, 2^3 - 1{,}094 \,.\, (2-1)^3 + (2 - 2 + 0{,}5)^3] = +\frac{l^3 P}{6EJ}0{,}813.$$

Nach der gemachten Annahme ist $\mu = 0{,}05$, mithin erhält man aus Gleichung 40 für $\xi = 3$ die gesuchte Tangente φ_c:

$$\frac{dy}{dx} = \varphi_c = \frac{l^2 P}{2EJ}[-0{,}099 + 0{,}297 \,.\, 3^2 - 1{,}094(3-1)^2 + (3 - 2 + 0{,}5)^2]$$

$$\pm 0{,}05 = \frac{l^2 P}{2EJ}0{,}448 \pm 0{,}05,$$

wobei im letzten Glied das $\pm$ Vorzeichen zu nehmen ist, je nachdem der 2. Träger fallend oder steigend gelagert ist.

7. Symmetrischer, über 6 Stützen durchlaufender Träger mit Gelenkpunkt in der Mitte, und Querkraft-Nullfeldern über den Pfeilerfachen. (Die Auflager jedes Hauptträgers AM, bezw. MG liegen in einer Geraden.)

1. Belastungsfall. Die Last P steht innerhalb der Aufsenöffnung AB. Aus der Ausgangsgleichung:

$$\left.\begin{aligned} EJy = EJ\varphi_a\xi l + \frac{l^3}{6}[-A\xi^3_{\,\mathrm{I}} + P(\xi-\beta)^3_{\,\mathrm{II}} - B(\xi-1)^3_{\,\mathrm{III}} - C(\xi-n-1)^3_{\,\mathrm{IV}}] \\ + \mu(\xi-n-2)\,l_{\,\mathrm{V}} + \frac{l^3}{6}[-D(\xi-n-3)^3_{\,\mathrm{VI}} - E(\xi-m-3)^3_{\,\mathrm{VII}}] \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 42.$$

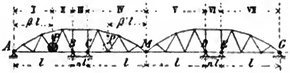
erhält man, da für $[y]_{\xi=1} = [y]_{\xi=n+1} = [y]_{\xi=n+3} = [y]_{\xi=2n+3} = [y]_{\xi=2n+4} = 0$ und:

$$\left[EJ \,.\, \frac{d^2y}{dx^2}\right]_{\xi=1} = \left[EJ \,.\, \frac{d^2y}{dx^2}\right]_{\xi=n+1}$$

sowie:

$$\left[EJ \,.\, \frac{d^2y}{dx^2}\right]_{\xi=n+3} = \left[EJ \,.\, \frac{d^2y}{dx^2}\right]_{\xi=2n+3}$$

Fig. 100.



sein mufs, die Stützendrücke aus den Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{P}{8+12n}[8 + 12n - (9 + 12n)\beta + \beta^3] \\ B &= P - A \\ C &= G = P\beta - A = -D = -E \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 43.$$

2. Belastungsfall. Die Last P steht innerhalb der Innenöffnung $C\,M$. Hierfür:

$$\left.\begin{array}{l} EJy = EJ\varphi_a . \xi l + \frac{l^3}{6}\left[- A\,\underset{B}{\xi^3,} - B\,\underset{C}{(\xi - 1)^3,} - C\,\underset{P}{(\xi - n - 1)^3,} + P\,\underset{M}{(\xi - n - 2 + \beta')^3,}\right] \\ \quad + \mu\,\underset{D}{(\xi - n - 2)\,l,} + \frac{l^3}{6}\left[- D\,\underset{E}{(\xi - n - 3)^3,} - E\,\underset{G}{(\xi - 2n - 3)^3,}\right] \end{array}\right\} \quad . . 44.$$

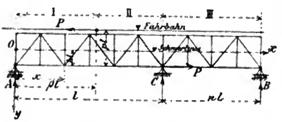
Setzt man $\beta'' = 1 - \beta'$, so erhält man die Stützendrücke schliefslich aus:

$$\left.\begin{array}{l} - A = B = \frac{P}{8 + 12\,n}\left[(1 + n)\,6\,\beta'' - 3\,\beta''^2 + \beta''^3\right] \\ C = B + P(1 - \beta'') \\ D = E = - G = P\beta'' - B \end{array}\right\} \quad . . . . 45.$$

Setzt man $n = 0$, so mufs man die früher gefundenen Gleichungen 39 bezw. 41 erhalten.[36])

8. Der über 3 Stützen durchlaufende Träger unter dem Einflufs von Längskräften (Bremswirkung). (Die 3 Stützen liegen in einer Geraden.)

Fig. 101.



1. Belastungsfall. Der Angriffspunkt der Kraft P befindet sich innerhalb des Öffnungsfeldes $A\,C$. Da nach Francke jedem äufseren Angriffsmoment M_x der Sprung

$$\Delta y = - \frac{M_x}{2\,EJ}(\xi - \beta)^2 l^2$$

in der Gleichung der elastischen Linie entspricht, so nimmt für den in Fig. 101 dargestellten Belastungsfall die Gleichung derselben die Form an:

$$EJy = EJ\varphi_a\,\xi l - \frac{1}{6}\,l^3 A\,\underset{I}{\xi^3,} - \frac{1}{2}\,l^2 M_\beta\,\underset{II}{(\xi - \beta)^2,} - \frac{1}{6}\,l^3\,C(\xi - 1)^3 - \frac{1}{2}\,l^2 M_c\,\underset{III}{(\xi - 1)^2,} \quad . . . 46.$$

Hierin bedeutet M_β das Angriffsmoment an der Trägerstelle: βl und M_c das Angriffsmoment am Pfeilerquerschnitt C, bezogen auf die Trägerschweraxe.

Setzt man $\xi = \frac{x}{l}$, so folgt aus der Bedingung:

$$\left[EJ . \frac{d^2 y}{d x^2}\right]_{\xi = n+1} = 0,\; C = - \frac{1}{n}\left[(M_\beta + M_c)\frac{1}{l} + A(n + 1)\right].$$

Die weitere Bedingung $[y]_{\xi = 1} = 0$ giebt $6\,EJ\varphi_a = A\,l^2 + 3\,M_\beta\,l\,(1 - \beta)^2$; wird letzterer Wert gleichzeitig mit der Bedingung $[y]_{\xi = n+1} = 0$ in die Gleichung 46 eingeführt, so erhält man:

$$A\left[(n + 1) - (n + 1)^3 + n^3 + n^2\right] l - 3\,M_\beta\left[(n + 1 - \beta)^2 - (1 - \beta)^2 (n + 1)\right]$$
$$+ (M_\beta + M_c)\,n^2 - 3\,M_c\,n^2 = 0$$

und hieraus, da $M_\beta = - P(p - h)\,l$ und $M_c = - P\,h\,l$ einzuführen ist (siehe Fig. 101), schliefslich:

$$A = P\left[2\,n\,p + 3\,(p - h)\,(1 - \beta^2)\right]\frac{1}{2\,(n + 1)} \quad . . . . 47.$$

Greift die Bremskraft in der Ebene der unteren Gurtung an, so wird, da $p = 0$ zu setzen ist,

$$A = - P\,3\,h\,(1 - \beta^2)\frac{1}{2\,(n + 1)}, \quad . . . . 47^a.$$

für $\beta = 1$ mufs $A = 0$ werden.

Für Bremswirkung in der Ebene der oberen Gurtung ist $p = 2\,h$ zu setzen und hierfür wird:

$$A = P\left[4\,n + 3\,(1 - \beta^2)\right]\frac{h}{2\,(n + 1)}, \quad . . . . 47^b.$$

für $\beta = 1$ wird $A = P\,\frac{2\,h\,n}{n + 1}$.

Fällt die Bremskraftwirkung in die Schwerpunktsebene des Trägers selbst, so ist $p = h$ und

$$A = P\,\frac{h\,n}{n + 1}, \quad . . . . 47^c.$$

d. h. A wird eine unveränderliche Gröfse, unabhängig von der Kraftangriffsstelle $\beta\,l$.

---

[36]) Die Gleichungen 39, 41, 43 und 45 finden sich auch in Engineering News 1895 II, S. 150, jedoch grofsenteils nur als Endergebnisse und können ohne die Gleichungen 38, 40, 42 und 44 allein zur Bestimmung der statischen Gröfsen benutzt werden.

Der Pfeilerstützendruck findet sich, sobald A gefunden, aus der Gleichung:

$$C = \frac{1}{n}\,[P p - A(n+1)] \quad \ldots \quad 48.$$

2. Belastungsfall. Der Angriffspunkt der Kraft P befindet sich innerhalb des Öffnungsfeldes CB. Bezeichnet man die Entfernung des Kraftangriffspunktes P von der Mittelstütze C mit $\beta' l$, so erhält man die Ausgangsgleichung:

$$E J y = E J \varphi_a \xi l - \frac{1}{6} A l^3 \xi - \frac{1}{6} l^3 C(\xi - 1)^3 - \frac{1}{2} l^2 M_c (\xi - 1)^2 - \frac{1}{2} l^2 M_{\beta'} (\xi - 1 + \beta')^2 \quad \ldots \quad 49.$$

und hieraus schliefslich:

$$A = P\,\frac{n^2(3h - p) + 3(p - h)(n + \beta')^2}{2n(n+1)} \quad \ldots \quad 50.$$

Setzt man in Gleichung 47: $\beta = 1$ und in Gleichung 50: $\beta' = 0$, so müssen beide denselben Wert ergeben: $A = \frac{P n p}{n+1}$.

In gleicher Weise wie oben erhält man für $p = 0$:

$$A = P\,\frac{3hn^2 - 3h(n+\beta')^2}{2n(n+1)} \quad \ldots \quad 50^a.$$

für $\beta' = 0$ wird $A = 0$,

für $p = 2h$:

$$A = P\,\frac{hn^2 + 3h(n+\beta')^2}{2n(n+1)} \quad \ldots \quad 50^b.$$

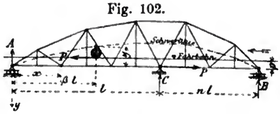
für $\beta' = 0$ wird $A = \frac{2hn}{n+1} P$

und für $p = h$:

$$A = P\,\frac{nh}{n+1} \quad \ldots \quad 50^c.$$

8ª. Sonderfall.

Fig. 102.



Für den in Fig. 102 dargestellten Träger erhält man, weil $M_\beta = +P(\eta - p)l$ und $M_c = -Phl$ einzuführen ist, wenn nach der Figur $y = \eta l$, ferner der Abstand des Pfeilerstützpunktes C von der Bremskraftrichtung mit $p\,l$[37]) und von der Schwerpunktsaxe mit hl bezeichnet wird, schliefslich aus der Gleichung 46:

$$A = \frac{P}{2(n+1)}\,[2(-\eta + p + h)n - 3(\eta - p)(1 - \beta^2)] \quad \ldots \quad 51.$$

und:

$$C = \frac{1}{n}\,[P(-\eta + p + h) - A(n+1)] \quad \ldots \quad 52.$$

Beispiel. Auf einem durchaus 0,8 m hohen, 8 m langen Parallelblechträger, der auf 3 in einer Geraden liegenden Stützen lagert, werde eine dreiachsige Tenderlokomotive mit 1,5 m Achsstand in dem Augenblick gebremst, in dem sie in die Mitte des gröfseren (5 m) Öffnungsfeldes gelangt ist. Gesucht werden die Biegungsmomente in der Mitte des gröfseren Öffnungsfeldes und über der Zwischenstütze, wenn die Bremskraft in 0,5 m Höhe über der Längsschweraxe des symmetrisch geformten Blechträgers angreift und die Gröfse der wagrechten Bremswirkung eines Rades mit P bezeichnet wird.

Da mit Rücksicht auf die durch Fig. 101 festgestellte Bezeichnungsweise $l = 5$, $nl = 3$, $h = \frac{0{,}4}{5{,}0} = 0{,}080$, $p = \frac{0{,}9}{5{,}0} = 0{,}180$, $n = 0{,}60$, $\beta_1 = \frac{1{,}0}{5{,}0} = 0{,}200$, $\beta_2 = 0{,}500$ und $\beta_3 = 0{,}800$ wird, erhält man aus der Gleichung 47:

$$A = \frac{P}{2 \cdot 1{,}6}\,\{2 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}180 \cdot 3 + (0{,}180 - 0{,}080)\,[(1 - 0{,}200^2) + (1 - 0{,}500^2) + (1 - 0{,}800^2)]\} = P \cdot 0{,}2672\ \mathrm{t}.$$

Gleichung 46 giebt:

$$\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2}\right]_{\xi = 0{,}5} = -Al\xi - M_{\beta_1} = [-0{,}2672 \cdot 5 \cdot 0{,}5 + (0{,}180 - 0{,}08)\,5]\,P = -P \cdot 0{,}1680\ \mathrm{tm}.$$

und:

$$\left[EJ \cdot \frac{d^2 y}{dx^2}\right]_{\xi = 1} = -Al - \sum_{\beta=1}^{\beta=3} M_\beta = [-0{,}2672 \cdot 5 + 0{,}10 \cdot 5 \cdot 3]\,P = +P \cdot 0{,}1640\ \mathrm{tm}.$$

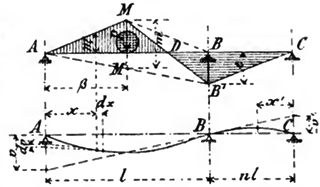
[37]) In Fig. 102 irrtümlich mit p anstatt $p\,l$ bezeichnet.

B. Veränderliches Trägheitsmoment.

1. Der durchlaufende Träger über 3 Stützen, die in einer Geraden liegen.

Es sei $J_x = k\,x$ und $J_x' = k'\,x'$, d. h. das Trägheitsmoment wachse proportional mit der Entfernung von den beiden Endstützen A und B (Fig. 103) und erreiche über der Mittelstütze seinen Höchstwert J_C. Es ist dies eine Annahme, durch die in manchen Fällen, insbesondere bei Entwurfsarbeiten, der Veränderlichkeit des Trägheitsmomentes genügend Rechnung getragen wird. Mit Beziehung auf Fig. 103[38]) ist:

Fig. 103.



$$d\varphi = \frac{M_x}{E J_x}\,dx, \quad dv = \frac{M_x}{E J_x}\,dx\,.\,x = \frac{M}{E k}\,dx,$$

ferner ist $tang\,\varphi_B = \frac{v}{l} = -\frac{v'}{n\,l}$, $v = -v'\left(\frac{1}{n}\right)$.

Der Annahme gemäfs mufs für $x = l$ und $x' = n\,l$: $J_C = k\,l = k'\,n\,l$, also $k' = \frac{k}{n}$ werden.

Nach dem obigen ist ferner $v + v'\,\frac{1}{n} = 0$, oder die Werte hierfür eingesetzt:

$$\frac{1}{E\,k}\int_A^C M_x\,.\,dx + \frac{1}{n}\,.\,\frac{n}{E\,k}\int_B^C M_x'\,.\,dx' = 0.$$

Da aber nach Fig. 103:

$$\int_A^C M_x\,.\,dx = \frac{1}{2}\,[m\,l - \overline{A\,D}\,.\,c - (\overline{A\,C} - \overline{A\,D})\,c] = \frac{l}{2}\,(m - c) \quad \text{und} \quad \int_B^C M_x'\,.\,dx' = -\frac{1}{2}\,c\,n\,l,$$

findet sich c aus der Gleichung:

$$c = m\,\frac{1}{n+1} \qquad \qquad 53.$$

Da der Wert von m für jede beliebige Laststellung $\beta\,l$ aus der Gleichung $m = l\,(\beta - \beta^2)\,P$ bestimmt werden kann, erhält man schliefslich:

$$c = \frac{l}{n+1}\,(\beta - \beta^2)\,P \qquad \qquad 54.$$

Einer **Überhöhung der Mittelstütze um den gegebenen Betrag** c entspricht eine Mehrbelastung der letzteren um den Betrag:

$$C = \frac{2\,E\,J_c}{l^3}\,.\,\frac{n+1}{n^2}\,c \qquad \qquad 55^a.$$

und einer Entlastung der Endstütze A um den Betrag:

$$A = C\,\frac{n}{n+1} = \frac{2\,E\,J_c}{l^3}\,.\,\frac{c}{n}, \qquad \qquad 55^b.$$

hierin bedeutet J_c das Trägheitsmoment über der Mittelstütze, und C wurde gefunden aus der Arbeitsgleichung:

$$1\,c = \frac{1}{E}\int_A^C \frac{M_x}{k\,x}\,.\,\frac{d\,M_x}{d\,C}\,dx + \frac{1}{E}\int_B^C \frac{M_x'}{k'\,x'}\,.\,\frac{d\,M_x'}{d\,C}\,dx'.$$

Beachtenswert ist, dafs bei dem vorstehend angenommenen Bildungsgesetz der Trägheitsmomente die Mehrbelastung der Stütze C bei gegebener Überhöhung c anderthalbfach so grofs wird, als sie sich bei unveränderlichem Trägheitsmoment J_c ergeben würde.

Sonderfall. Für gleich grofse Öffnungsfelder ergiebt sich die besonders einfache Beziehung:

$$c = \frac{m}{2} \qquad \qquad 56.$$

die zuerst F. Bohny bei Berechnung der in Fig. 13 dargestellten gleicharmigen Drehbrücke aufgestellt hat; sie gestattet, in einfachster Weise die Einflufslinien für die Momente und Querkräfte graphisch zu ermitteln.

---

[38]) In Fig. 103 ist die Mittelstütze mit C, die rechte Endstütze mit B und die Laststellung mit $\beta\,l$ (anstatt mit β) zu bezeichnen.

2. Das Trägheitsmoment ist stetig veränderlich. Der durchlaufende Träger über 3 Stützen, die in einer Geraden liegen.

Geht man von der in diesem Falle giltigen Grundgleichung:

$$-E J_x \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} = M_x \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 57.$$

aus, wobei das Bildungsgesetz für die Veränderlichkeit des Trägheitsmomentes J_x gegeben ist durch die Gleichung:

$$\frac{1}{J_x} = f(x) = a + b\,x + c\,x^2 + d\,x^3 + \ldots.$$

und bezeichnet man der Abkürzung halber die Integrale dieser Funktion der Reihe nach mit $F(x)$, $F'(x)$, $F''(x) \ldots.$ derart, dafs:

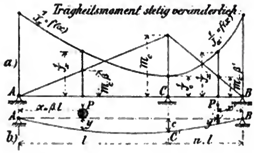
$$\int f(x)\,dx = F(x) = \left(a + \frac{1}{2} b\,x + \frac{1}{3} c\,x^2 + \frac{1}{4} d\,x^3 + \ldots.\right) x$$

$$\int\!\!\int f(x)\,dx = F'(x) = \left(a + \frac{1}{3} b\,x + \frac{1}{6} c\,x^2 + \frac{1}{10} d\,x^4 + \ldots.\right) \frac{x^2}{2}$$

$$\int\!\!\int\!\!\int f(x)\,dx = F''(x) = \left(a + \frac{1}{4} b\,x + \frac{1}{10} c\,x^2 + \frac{1}{20} d\,x^4 + \ldots.\right) \frac{x^3}{6}$$

gefunden wird, so erhält man durch zweimalige Integration der Gleichung 57, die man auch schreiben kann:

Fig. 104.



$$-E \frac{d^2 y}{d x^2} = M_x \,.\, f(x)$$

unter Berücksichtigung der Bedingungen, dafs für $x = 0$, $y = 0$; ferner für

$$x = 0; \; \frac{d y}{d x} = \varphi_a \text{ und } M_o = 0$$

wird, die Grundgleichung:

$$E\,y = E\,\varphi_a\,x - x \int_0^x M_x . f(x)\,dx + \int_0^x M_x . f(x) . x . dx \quad \ldots \ldots \ldots \quad 58.$$

Bezeichnet man die Trägerstrecke von A bis P mit I, von P bis C mit II und von C bis B mit III, so kann man die Gleichung 58, da für den in Fig. 104 dargestellten Belastungsfall ganz allgemein:

$$M_x = A\,x_{,\,\mathrm{I}} - P(x - \beta\,l)_{,\,\mathrm{II}} + C(x - l)_{,\,\mathrm{III}}$$

zu setzen ist, wenn die Giltigkeitsgrenzen dieser Gleichung mit I, II und III (vergl. auch S. 111, Fig. 76ᵃ) gekennzeichnet werden, schliefslich auf die Form bringen:

$$\left.\begin{aligned}
E\,y = E\,\varphi_a . x &- A\Big\{x\,[x\,F(x) - F'(x)]_{x=0}^{x=x} - [x^2 F(x) - 2\,x\,F'(x) + 2\,F''(x)]_{x=0}^{x=x}\Big\}_{,\,\mathrm{I}} \\
&+ P\Big\{x\,[(x - \beta\,l)\,F(x) - F'(x)]_{x=\beta l}^{x=x} - [x(x - \beta\,l)\,F(x) - (2\,x - \beta l)\,F'(x) + 2\,F''(x)]_{x=\beta l}^{x=x}\Big\}_{,\,\mathrm{II}} \\
&- C\Big\{x\,[(x - l)\,F(x) - F'(x)]_{x=l}^{x=x} - [(x - l)\,x\,F(x) - (2\,x - l)\,F'(x) + 2\,F''(x)]_{x=l}^{x=x}\Big\}_{,\,\mathrm{III}}
\end{aligned}\right\} \ldots 59.$$

hieraus findet sich die weitere Gleichungsfolge:

$$\left.\begin{aligned}
\frac{d y}{d x} = \varphi_a &- \frac{A}{E}\,[x\,F(x) - F'(x)]_{x=0\;,\,\mathrm{I}}^{x=x} + \frac{P}{E}\,[(x - \beta l)(F(x) - F'(x)]_{x=\beta l\;,\,\mathrm{II}}^{x=x} \\
&- \frac{C}{E}\,[(x - l)\,F(x) - F'(x)]_{x=l\;,\,\mathrm{III}}^{x=x} = \varphi_x\,,
\end{aligned}\right\} \ldots 60.$$

$$\frac{E}{f(x)} \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} = -A\,x_{,\,\mathrm{I}} + P(\xi - \beta)\,l_{,\,\mathrm{II}} - C(x - l)_{,\,\mathrm{III}} = -M_x \quad \ldots \ldots \quad 61.$$

$$\frac{E}{f(x)} \cdot \frac{d^3 y}{d x^3} = -A_{,\,\mathrm{I}} + P_{,\,\mathrm{II}} - C_{,\,\mathrm{III}} = +Q_x \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 62.$$

Diese Gleichungsfolge gestattet in Verbindung mit den Bedingungsgleichungen:

$$[y]_{x=l} = [y]_{x=l(n+1)} = 0 \quad \text{und} \quad \left[\frac{E}{f(x)} \cdot \frac{d^2 y}{d x^2}\right]_{x=l(n+1)} = 0$$

die statischen und elastischen Gröfsen bei jeder Laststellung für jeden Querschnitt zu berechnen.

Bei Anwendung der Gleichung 59 möge beachtet werden, dafs die Grenzen $x = 0$ und $x = x$; $x = \beta l$ und $x = x$ u. s. w. sich nur auf die Klammerausdrücke [.....], nicht aber auf den Faktor x beziehen; es folgt dies unmittelbar aus der Ableitung der letztgenannten Gleichung aus der Gleichung 58.

Eine wesentliche Kürzung der Rechnung kann mit Beiziehung des Maxwell'schen Satzes in folgender Weise erzielt werden:

Obenstehende Gleichungsfolge liefert unmittelbar jede gesuchte Gröfse, sobald die Auflagerkräfte A und C gefunden sind; um letztere zu ermitteln, denke man sich vorerst die Mittelstütze C entfernt, an deren Stelle die Krafteinheit lotrecht nach abwärts wirkend angebracht und für diesen Belastungsfall die Biegungslinie $A\,C'\,B$ (Fig. 104 b) berechnet, so ist, da in obenstehenden Gleichungen: $C = 1$ t und $A = 1\,\frac{n}{n+1}$, $P = 0$ zu setzen und bei den mit C behafteten Gliedern das Vorzeichen umzukehren.

Bezeichnet man für diesen Belastungsfall (Fig. 104 b) die Einsenkungstiefe unter Laststelle C mit c, die Einsenkungstiefe an der Trägerstelle x mit y, so ergeben sich die Werte für die Einflufslinien der Mittelstützendrücke, hervorgerufen durch die wandernde Einzellast P, aus den Gleichungen:

$$C = P\,\frac{y}{c} \quad \ldots\ldots \quad 64^a.$$

für alle Querschnitte von $\beta l = 0$ bis l, und:

$$C = P\,\frac{y'}{c} \quad \ldots\ldots \quad 64^b.$$

für alle Querschnitte von $l\beta' = l$ bis $l\,(n+1)$.

Der Endauflager-Stützendruck A findet sich hierauf aus Gleichung 61, da für $x = l\,(n+1)$ dieselbe Null werden mufs. Die Ordinaten der Biegungslinie für den frei aufliegenden Träger $A\,B$ ergeben sich mithin aus Gleichung 59, wenn man in derselben $P = 0$ setzt und C mit entgegengesetzten Vorzeichen einführt.

Schreibt man zur Abkürzung: $l\,(n+1) = L$, so giebt die letztgenannte Gleichung in Verbindung mit der Bedingung $[y]_{x=L} = 0$ nach einiger Umformung schliefslich:

$$\varphi_a = \frac{1}{EL}\left\{\frac{4}{3}\,F''(L) - \frac{1}{2}\,l\,F'(l) - 2\,F''(l)\right\} \quad \ldots\ldots \quad 65.$$

und die gesuchte Einsenkung an der Laststelle C findet sich nun aus der Gleichung:

$$c = \varphi_a \,.\, l - \frac{1}{E}\cdot\frac{n}{n+1}\,[l\,F'(l) - 2\,F''(l)] \quad \ldots\ldots \quad 66.$$

Den weiteren Verlauf der Biegungslinie erhält man nun aus folgenden beiden Gleichungen:

Für alle Querschnitte zwischen $x = 0$ bis l aus:

$$y = \varphi_a\,x - \frac{1}{E}\cdot\frac{n}{n+1}\,[x\,F'(x) - 2\,F''(x)] \quad \ldots\ldots \quad 67^a.$$

und zwischen $x = l$ bis $L = l\,(n+1)$:

$$y' = \varphi_a\,x - \frac{1}{E}\left\{\frac{n}{n+1}\,.\,[x\,F'(x) - 2\,F''(x)] - [(x-l)\,\{F'(x) - F'(l)\} - 2\,\{F''(x) - F''(l)\}]\right\} \,..\, 67^b.$$

Sind nun aus den Gleichungen 64^a und 64^b die Stützendrücke für alle Laststellungen berechnet, so kann mittels der Gleichungsfolge 59 bis 62 jede beliebige statische oder elastische Gröfse gefunden werden.

Formgleichung der Trägheitsmomente der Trägerquerschnitte: Werden die als gegeben vorausgesetzten Trägheitsmomente in den Abständen $x = 0, 1, 2, \ldots$ von der linken Endstütze mit $J_0, J_1, J_2, \ldots$ bezeichnet und hieraus die Werte $y_0 = \frac{1}{J_0}$, $y_1 = \frac{1}{J_1}$, $y_2 = \frac{1}{J_2} \ldots$ berechnet, so lassen sich die Beiwerte: $a, b, c, d, \ldots$ der Formgleichung:

$$f(x) = \frac{1}{J_x} = a + bx + cx^2 + dx^3 + \ldots$$

aus folgendem System linearer Gleichungen bestimmen:

$$\begin{aligned}
y_0 &= a \\
y_1 &= a + b + c + d + \ldots \\
y_2 &= a + 2b + 4c + 8d + \ldots \\
y_3 &= a + 3b + 9c + 27d + \ldots \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{aligned}$$

Überhöhung der Mittelstütze um einen gegebenen Betrag c: Handelt es sich um die Ermittelung der statischen Gröfsen allein, so genügt die Kenntnis der Stützendrücke, zu deren Berechnung man zweckmäfsig von der Arbeitsgleichung ausgeht, die mit Beziehung auf Fig. 104 lautet:

$$c = \frac{1}{E}\int_A^C \frac{M_x}{J_x}\cdot\frac{d\,M_x}{d\,C}\,d\,x + \frac{1}{E}\int_B^C \frac{M_x'}{J_x'}\cdot\frac{d\,M_x'}{d\,C}\,d\,x'.$$

Ist die Formgleichung für die Trägheitsmomente des linken Öffnungsfeldes $A\,C$ in Bezug auf die Endstütze A als Ausgangspunkt des Koordinatensystemes gegeben durch die Gleichung:

$$\frac{1}{J_x} = f(x) = a + b\,x + c\,x^2 + d\,x^3 + \ldots$$

und in gleicher Weise für das rechte Öffnungsfeld $C\,B$ in Bezug auf die rechte Endstütze B durch die Gleichung:

$$\frac{1}{J_x'} = f'(x) = a' + b'x' + c'x'^2 + d'x'^3 + \ldots,$$

so erhält man durch Einführung der Werte für:

$$M_x\frac{d\,M_x}{d\,C} = \left(\frac{n}{n+1}\right)^2 x^2 \quad \text{und} \quad M_x'\cdot\frac{d\,M_x'}{d\,C} = \left(\frac{1}{n+1}\right)^2 x'^2$$

in die Arbeitsgleichung:

$$c = \frac{1}{E}\cdot\frac{1}{(n+1)^2}\left\{n^2\int_A^C f(x)\,x^2\,d\,x + \int_B^C f'(x)\,x'^2\,d\,x'\right\},$$

und hieraus nach Ausführung der Integrationen und einiger Umformung schliefslich:

$$c = \frac{C}{E}\cdot\frac{n^2\,l^3}{(n+1)^2}\left[\frac{1}{3}(a+a'n) + \frac{1}{4}(b+b'n^2)\,l + \frac{1}{5}(c+c'n^3)\,l^2 + \frac{1}{6}(d+d'n^4)\,l^3 + \ldots\right] \ldots 66^a.$$

Diese Gleichung geht, wenn $f(x) = f'(x) = a = a' = \frac{1}{J}$, d. h. das Trägheitsmoment unveränderlich gewählt wird, über in die früher gefundene Gleichung 20.

Die Gleichung 66ª kann zweckmäfsig zur Prüfung des aus der Gleichung 66 (die auf ganz anderem Wege gefunden wurde) berechneten Wertes c benutzt werden.

Beispiel. In der Mitte des grofsen Öffnungsfeldes einer 60 m langen ungleicharmigen, auf gleich hohen Stützen aufgelagerten Drehbrücke ($40 + 20 = 60$ m) steht die Einzellast P; es sollen die Auflagerdrücke, die Tangente an die elastische Linie an der linken Endstütze A und die Einsenkung des Trägers an der Laststelle berechnet werden. Die Trägheitsmomente an den beiden Endstützen betragen: 0,05 m^4, in der Mitte des langen Armes 0,40 m^4 und über der Mittelstütze 0,50 m^4.

Im vorliegenden Fall ergiebt sich, da für $x_0 = 0$, $y_0 = 20$; für $x_1 = 20$, $y_1 = 2{,}50$; für $x_2 = 40$, $y_2 = 2$ und für $x_3 = 60$ m, $y_3 = 20$ wird, folgende Formgleichung der Trägheitsmomente:

$$f(x) = 20 - 1{,}275\,x + 0{,}019\,375\,x^2 + 0{,}000\,031\,25\,x^3,$$

mithin:

$$F(x) = (20 - 0{,}637\,5\,x + 0{,}006\,458\,33\,x^2 + 0{,}000\,007\,812\,5\,x^3)\,x,$$

$$F^{\text{v}}(x) = (20 - 0{,}425\,0\,x + 0{,}003\,229\,166\,x^2 + 0{,}000\,003\,125\,x^3)\,\frac{x^2}{2},$$

$$F^{\text{vi}}(x) = (20 - 0{,}318\,750\,x + 0{,}001\,937\,5\,x^2 + 0{,}000\,001\,562\,5\,x^3)\,\frac{x^3}{6}.$$

Die zur weiteren Berechnung erforderlichen Funktionswerte ergeben sich nach diesen Gleichungen wie folgt:

Für $x = 20$ m wird:

$F(20) = 197{,}9$; $F^{\text{v}}(20) = 2563{,}3$; $F^{\text{vi}}(20) = 19217$; für $x = 40$ m: $F(40) = 213{,}33$; $F^{\text{v}}(40) = 6693$; $F^{\text{vi}}(40) = 111467$; für $x = 60$ m: $F(60) = 341{,}25$; $F^{\text{v}}(60) = 12240$; und $F^{\text{vi}}(60) = 294750$.

Man findet nun aus Gleichung 65:

$$\varphi_a = \frac{1}{60\,E}\left\{\frac{4}{3}\,294750 - \frac{1}{2}\,40\,.\,6693 - 2\,.\,111467\right\} = \frac{1}{E}\,603{,}33$$

und hieraus mittels der Gleichung 66:

$$c = \frac{1}{E}\left\{603{,}33\,.\,40 - \frac{1}{2}\cdot\frac{2}{3}\,[40\,.\,6693 - 2\,.\,111467]\right\} = \frac{1}{E}\,9204.$$

Zur Prüfung möge dieser zuletzt gefundene Wert noch mittels der Gleichung 66ª berechnet werden:

Die Formgleichungen für das Bildungsgesetz der Trägheitsmomente lauten für das linke, bezw. rechte Öffnungsfeld, jeweilig auf die Endstütze A, bezw. B bezogen,

$$f(x) = 20 - 1{,}275\,x + 0{,}019\ 375\,x^2 + 0{,}000\ 031\ 25\,x^3;$$

$$\text{bezw. } f'(x) = 20 - 1{,}3875\,x' + 0{,}025\ 000\,x'^2 - 0{,}000\ 031\ 25\,x'^3;$$

mithin wird nach Gleichung 66ᵃ für $C = 1$ t:

$$c = \frac{1}{E} \cdot \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^2 40^3 \left[\frac{1}{3}\left(20 + \frac{1}{2}\,20\right) + \frac{1}{4}\left(-1{,}275 - \frac{1}{4} \cdot 1{,}3875\right) 40\right.$$

$$\left. + \frac{1}{5}\left(+0{,}019\ 375 + \frac{1}{8}\,0{,}025\ 000\right) 40^2 + \frac{1}{6}\left(0{,}000\ 031\ 25 - \frac{1}{16}\,0{,}000\ 031\ 25\right) 40^3\right]$$

$$= \frac{1}{E}\,7111{,}1 \cdot 1{,}294 = \frac{1}{E}\,9202$$

(daher bis auf 0,02% Übereinstimmung mit dem oben gefundenen Wert).

Die Einbiegung wird um 29,4% gröfser, als sie sich ergeben hätte, wenn der Querschnitt über der Zwischenstütze C unveränderlich bis an die beiden Endstützen durchlaufen würde.

Für $x = 20$ m wird nach Gleichung 67ᵃ:

$$y_{20} = \frac{1}{E}\left\{603{,}33 \cdot 20 - \frac{1}{3}\,[20 \cdot 2563{,}3 - 2 \cdot 19\ \ 217]\right\} = \frac{1}{E}\,7789{,}3,$$

mithin nach Gleichung 64ᵃ der gesuchte Mittelstützendruck:

$$C = P\,\frac{7789}{9204} = 0{,}846\,P,$$

und hieraus, da nach Gleichung 61: $A\,60 - P\,(60 - 20) + (60 - 40)\,0{,}846\,P = 0$ sein mufs:

$$A = 0{,}385\,P.$$

Die Tangente an die elastische Linie über der linken Endstütze A findet sich aus der Gleichung 59, die sich, weil sie für $x = L = l\,(n+1)$ Null werden mufs, auf die Form bringen läfst:

$$0 = E\,\varphi_a\,L - A\,\{L\,F'(L) - 2\,F''(L)\} + P\,\{(L - \beta l)\,[F'(L) + F'(\beta l)] - 2\,[F''(L) - F''(l)]\}$$

$$- C\,\{(L - l)\,[F'(L) + F'(l)] - 2\,[F''(L) - F''(l)]\}.$$

Führt man in diese Gleichung die betreffenden Einzelwerte ein und beachtet, dafs $x = \beta\,l = \frac{1}{3}\,L$ wird, so erhält man:

$$\varphi_a = \frac{P}{60\,E}\,\{0{,}385\,[60 \cdot 12240 - 2 \cdot 294\,750] - (60 - 20)\,[(12\,240 + 2563{,}3) - 2\,(294\,750 - 19\,217)]$$

$$+ 0{,}875\,[20\,(12\,240 + 6693) - 2\,(294\,750 - 111\,467)]\} = \frac{P}{E}\,416{,}1$$

und hieraus schliefslich die gesuchte Einsenkung an der Laststelle aus Gleichung 59, wenn in dieselbe $x = 20$ m eingesetzt wird,

$$y_{20} = \frac{P}{E}\,\{416{,}1 \cdot 20 - 0{,}385\,[20 \cdot 2563{,}3 - 2 \cdot 19\ 217]\} = \frac{P}{E}\,3382.$$

Für ein unveränderliches Trägheitsmoment $J_c = 0{,}50\ \text{m}^4$ (Mittelstütze) finden sich die Werte: $A = 0{,}375\,P$; $C = 0{,}875\,P$; $\varphi_a = 133{,}3\,\frac{P}{E}$ und $y_{20} = 1666\,\frac{P}{E}$; mithin betragen die Abweichungen hiervon mit Berücksichtigung der stetigen Veränderlichkeit der Trägheitsmomente $\Delta A = 2{,}7\%$; $\Delta C = 3{,}4\%$; $\Delta \varphi_a = 212\%$ und $\Delta y_{20} = 103\%$.

Ein Vergleich dieser Werte zeigt, dafs zwar die Voraussetzung eines durchaus unveränderlichen Trägheitsmomentes bei der Untersuchung des elastischen Verhaltens eines über 3 Stützen durchlaufenden Trägern mit veränderlichen Trägheitsmomenten zu vollständig unbrauchbaren Ergebnissen führt, jedoch bei der Berechnung der statischen Gröfsen in den meisten Fällen brauchbare Näherungswerte giebt.

3. Das Trägheitsmoment ist sprungweise veränderlich.

a) Der durchlaufende Träger über 3 Stützen, die in einer Geraden liegen.

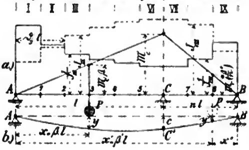
Ändert sich das Trägheitsmoment an der Trägerstelle ρ, sprungweise von J_ρ auf $J_{\rho+1}$ übergehend, so ist die Änderung, die die Gleichung der elastischen Linie an der betrachteten Trägerstelle ρ durch diese Querschnittsänderung erfährt, gegeben durch:

$$\Delta y = -\frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{E\,J_\rho\,J_{\rho+1}}\left[-M_\rho\,(\xi - \vartheta_\rho)^2\,l^2 + \frac{1}{6}\,Q_\rho\,(\xi - \vartheta_\rho)^3\,l^3\right],$$

wobei mit M_ρ das Biegungsmoment, mit Q_ρ die innere Querkraft an der Trägerstelle ρ bezeichnet wird, und die Bedeutung von ξ und ϑ_ρ aus der Fig. 105 zu entnehmen ist.

Fig. 105.

Trägheitsmoment sprungweis veränderlich.



Bezeichnet man die Ordinaten der elastischen Linien innerhalb der Trägerstrecken I, II, III, ... mit:

$$y_I,\ y_{II},\ y_{III}\ldots,$$

so lassen sich für den in Fig. 105 dargestellten Belastungsfall unmittelbar folgende Gleichungen anschreiben:

$$y_I = \varphi_a\,\xi\,l - \frac{A}{6\,E J_1}\,\xi^3 l^3$$

$$y_{II} = y_I - \frac{J_2 - J_1}{E J_1 J_2}\left[-\frac{1}{2}M_1(\xi-\vartheta_1)^2 l^2 + \frac{1}{6}Q_1(\xi-\vartheta_1)^3 l^3\right]$$

$$y_{III} = y_{II} - \frac{J_3 - J_2}{E J_2 J_3}\left[-\frac{1}{2}M_2(\xi-\vartheta_2)^2 l^2 + \frac{1}{6}Q_2(\xi-\vartheta_2)^3 l^3\right]$$

$$y_{IV} = y_{III} - \frac{J_4 - J_3}{E J_3 J_4}\left[-\frac{1}{2}M_3(\xi-\vartheta_3)^2 l^2 + \frac{1}{6}Q_3(\xi-\vartheta_3)^3 l^3\right] + P\,\frac{1}{6\,E J_4}(\xi-\beta)^3 l^3$$

$$y_V = y_{IV} - \frac{J_5 - J_4}{E J_4 J_5}\left[-\frac{1}{2}M_4(\xi-\vartheta_4)^2 l^2 + \frac{1}{6}Q_4(\xi-\vartheta_4)^3 l^3\right]$$

$$y_{VI} = y_V - \frac{J_6 - J_5}{E J_5 J_6}\left[-\frac{1}{2}M_5(\xi-\vartheta_5)^2 l^2 + \frac{1}{6}Q_5(\xi-\vartheta_5)^3 l^3\right]$$

$$y_{VII} = y_{VI} - \frac{J_7 - J_6}{E J_6 J_7}\left[-\frac{1}{2}M_6(\xi-1)^2 l^2 + \frac{1}{6}Q_6(\xi-1)^3 l^3\right] - C\,\frac{1}{6\,E J_7}(\xi-1)^3 l^3$$

$$y_{VIII} = y_{VII} - \frac{J_8 - J_7}{E J_7 J_8}\left[-\frac{1}{2}M_7(\xi-\vartheta_7)^2 l^2 + \frac{1}{6}Q_7(\xi-\vartheta_7)^3 l^3\right]$$

$$y_{IX} = y_{VIII} - \frac{J_9 - J_8}{E J_8 J_9}\left[-\frac{1}{2}M_8(\xi-\vartheta_8)^2 l^2 + \frac{1}{6}Q_8(\xi-\vartheta_8)^3 l^3\right].$$

Setzt man zur Abkürzung:

$$\frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{E J_\rho J_{\rho+1}} = \alpha_\rho;\quad \left[-\frac{1}{2}M_\rho(\xi-\vartheta_\rho)^2 l^2 + \frac{1}{6}Q_\rho(\xi-\vartheta)^3 l^3\right] = \Delta(\rho);$$

$$\frac{1}{6\,E J_1} = k_1;\quad \frac{1}{6\,E J_4} = k_p \quad\text{und}\quad \frac{1}{6\,E J_6} = k_c$$

und führt diese Werte in obiges Gleichungssystem ein, so erhält man folgende allgemein giltige Grundgleichungen:

$$\left.\begin{aligned} y_\rho = \varphi_a\,\xi\,l - k_1 A\,\xi^3 l^3_{\,I} - \sum_{\rho=1}^{\rho=2}\alpha_\rho\,\Delta(\rho)_{III} + k_p P(\xi-\beta)^3 l^3 - \sum_{\rho=3}^{\rho=5}\alpha_\rho\,\Delta(\rho)_{VI} \\ - k_c\,C(\xi-1)^3 l^3 - \sum_{\rho=6}^{\rho=8}\alpha_\rho\,\Delta(\rho)_{IX} \end{aligned}\right\} \quad\ldots\ldots 68.$$

$$\left.\begin{aligned} \varphi_x = \frac{d\,y_\rho}{d\,x} = \varphi_a - 3\,k_1 A\,\xi^2 l^2_{\,I} - \sum_{\rho=1}^{\rho=2}\alpha_\rho\,\frac{d\,\Delta(\rho)}{d\,x}_{III} + 3\,k_p P(\xi-\beta)^2 l^2 - \sum_{\rho=3}^{\rho=5}\alpha_\rho\,\frac{d\,\Delta(\rho)}{d\,x}_{VI} \\ - 3\,k_c\,C(\xi-1)^2 l^2 - \sum_{\rho=6}^{\rho=8}\alpha_\rho\,\frac{d\,\Delta(\rho)}{d\,x}_{IX} \end{aligned}\right\} \quad\ldots 69.$$

$$\left.\begin{aligned} E J_\rho\cdot\frac{d^2 y}{d\,x^2} = E J_\rho\Bigg\{-6\,k_1 A\,\xi\,l_{\,I} - \sum_{\rho=1}^{\rho=2}\alpha_\rho\,\frac{d^2\Delta(\rho)}{d\,x^2}_{III} + 6\,k_p P(\xi-\beta) - l\sum_{\rho=3}^{\rho=5}\alpha_\rho\,\frac{d^2\Delta(\rho)}{d\,x^2}_{VI} \\ - 6\,k_c\,C(\xi-1)\,l - \sum_{\rho=6}^{\rho=8}\alpha_\rho\,\frac{d^2\Delta(\rho)}{d\,x^2}_{IX}\Bigg\} = -M_x \end{aligned}\right\} \quad\ldots 70.$$

$$\left.\begin{aligned} E J_\rho\cdot\frac{d^3 y}{d\,x^3} = E J_\rho\Bigg\{-6\,k_1 A_{\,I} - \sum_{\rho=1}^{\rho=2}\alpha_\rho\,\frac{d^3\Delta(\rho)}{d\,x^3}_{III} + 6\,k_p J_\rho P - \sum_{\rho=3}^{\rho=5}\alpha_\rho\,\frac{d^3\Delta(\rho)}{d\,x^3}_{VI} \\ - 6\,k_c\,C - \sum_{\rho=6}^{\rho=8}\alpha_\rho\,\frac{d^3\Delta(\rho)}{d\,x^3}\Bigg\} = +Q_x \end{aligned}\right\} \quad\ldots 71.$$

Diese Gleichungsfolge in Verbindung mit den Bedingungsgleichungen: $[y]_{x=l} = [y]_{x=l(n+1)}$ und $\left[E J_\rho \cdot \frac{d^2 y}{d x^2}\right]_{x=l(n+1)} = 0$ gestattet wieder, die statischen und elastischen Gröfsen bei beliebiger Laststellung für jeden Trägerquerschnitt zu berechnen.

Die Bestimmungen der Stützenwiderstände A und C erfolgt jedoch rascher in nachstehender Weise:

Denkt man die Mittelstütze C beseitigt und an deren Stelle die Lasteinheit lotrecht abwärts wirkend angebracht, und ermittelt für diesen Belastungsfall den Verlauf der elastischen Linie, so findet sich mittels der Gleichungen 64ª und 64ᵇ der Stützenwiderstand C und hierauf aus Gleichung 70 der Stützenwiderstand A, wobei zu beachten ist, dafs $P = 0$ und die Lasteinheit bei C als äufsere Kraft mit entgegengesetztem Vorzeichen einzuführen ist, sowie dafs $\left[E J_\rho \cdot \frac{d^2 y}{d x^2}\right]_{x=l(n+1)} = 0$ werden mufs für $x = l(n+1)$.

Führt man die Werte für k_1, k_p und k_c in Gleichung 70 ein, so erhält man für den zuletzt vorausgesetzten Belastungsfall:

$$E J_\rho \cdot \frac{d^2 y}{d x^2} = J_\rho \left\{ -\frac{A}{J_1} \xi l - \sum_{\rho=1}^{\rho=5} \alpha_\rho \frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} + \frac{C}{J_6} C(\xi - 1) - \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \alpha_\rho \frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} \right\} = -M_x$$

oder, wenn man zur Abkürzung: $\frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} = \gamma_\rho$; $\frac{1}{J_1} = \gamma_a$ und $\frac{1}{J_6} = \gamma_c$ einführt, die letzte Gleichung mit $\frac{1}{J_\rho}$ multipliziert und berücksichtigt, dafs für $x = l(n+1)$, $-M_x = 0$ werden mufs:

$$A \gamma_a (n+1) l + \sum_{\rho=1}^{\rho=5} \gamma_\rho \frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} - C \gamma_c n l + \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \gamma_\rho \frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} = 0.$$

Da aber $\frac{d^2 \Delta(\rho)}{d x^2} = -M_\rho + Q_\rho (\xi - \vartheta_\rho)$ wird, wobei für alle Trägerquerschnitte von $x = 0$ bis $x = l$ an jenen Stellen, da wo der Sprung des Trägheitsmomentes stattfindet: $M_\rho = A \vartheta_\rho l$ und $Q_\rho = -A$ und an allen Trägerquerschnitten von $x = l$ bis $x = l(n+1)$: $M_\rho = [A \vartheta_\rho - C(\vartheta_\rho - 1)] l$ und $Q_\rho = -A + C$ einzuführen ist, so erhält man durch Einsetzen dieser Werte in die letzte Gleichung schliefslich die Beziehung:

$$A = C \frac{n}{n+1} \cdot \frac{\gamma_c - \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \gamma_\rho}{\gamma_a - \left(\sum_{\rho=1}^{\rho=5} \gamma_\rho + \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \gamma_\rho \right)} = C \frac{n}{n+1} \cdot 1, \quad \ldots \ldots \quad 72.$$

die auch unmittelbar aus der Bedingung, dafs das Trägersystem in Bezug auf die rechte Endstütze gegen Drehung im Gleichgewicht sein mufs, hätte angeschrieben werden können. Die Gleichung 72 dient im vorliegenden Fall nur zur grundsätzlichen Prüfung der Ausgangsgleichung 68.

Der Verlauf der elastischen Linie für den zuletzt betrachteten Belastungsfall (der an den Enden frei aufgelagerte Träger AB) bestimmt sich nun, da φ_a aus der Gleichung:

$$\varphi_a = \left\{ k_1 n(n+1) - k_c \frac{n^2}{n+1} - \frac{1}{6(n+1)^2} \left[n \sum_{\rho=1}^{\rho=5} \alpha_\rho (n + 1 - \vartheta_\rho)^2 (n + 1 + 2\vartheta_\rho) + 2 \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \alpha_\rho (n + 1 - \vartheta_\rho)^3 \right] \right\} l^2 \quad . \; 73.$$

die aus der Bedingungsgleichung: $[y]_{x=l(n+1)} = 0$ abgeleitet wurde, berechnet werden kann, aus:

$$\left. \begin{aligned} y_\rho = \varphi_a \xi l + \Bigg\{ & -\frac{n}{n+1} k_1 \xi^3 + \frac{n}{6(n+1)} \sum_{\rho=1}^{\rho=5} \alpha_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^2 (\xi + 2\vartheta_\rho)_C + k_6 \cdot 1 \cdot (\xi - 1)^3 \\ & + \frac{1}{6(n+1)} \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \alpha_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^2 [n(\xi + 2\vartheta_\rho) - (n+1)(\xi - 1)]_B \Bigg\} l^3 \end{aligned} \right\} \; . \; . \; 74.$$

Setzt man in letztere Gleichung: $\xi = 1$, so wird $y_\rho = c$ und man erhält die Einbiegung unter der Lasteinheit C aus:

$$c = \varphi_a l - \left[k_1 - \frac{1}{6} \sum_{\rho=1}^{\rho=8} \alpha_\rho (1 - \vartheta_\rho)^2 (1 + 2\vartheta_\rho) \right] \frac{n}{n+1} l^3 \quad \ldots \ldots \ldots \quad 75.$$

Da nun mittels der Gleichungen 64[a], bezw. 64[b], der Mittelstützendruck C und hierauf aus der Gleichung 70, welch letztere für $x = l(n+1)$ den Wert Null liefern mufs, die Endstützendrücke A für alle Laststellungen der wandernden Einzellast P berechnet werden können, gestattet die Gleichungsfolge 68 bis 71, alle statischen und elastischen Gröfsen für jeden beliebigen Trägerquerschnitt und jede Laststellung zu ermitteln. Für die weitere Berechnung läfst sich diese Gleichungsfolge jedoch auf folgende einfachere Form bringen.

Beachtet man dafs:

$$\Delta(\rho) = -\frac{1}{2} M_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^2 l^2 + \frac{1}{6} Q_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^3 l^3,$$

mithin:

$$\frac{d\,\Delta(\rho)}{d\,x^3} = - M_\rho (\xi - \vartheta_\rho) l + \frac{1}{2} Q_\rho (\xi - \vartheta_\rho)^2;$$

$$\frac{d^2\,\Delta(\rho)}{d\,x^2} = - M_\rho + Q_\rho (\xi - \vartheta_\rho) l \quad \text{und} \quad \frac{d^3\,\Delta(\rho)}{d\,x^3} = + Q_\rho$$

wird, wobei

für die Querschnitte von $\xi = 0$ bis β:

$$M_\rho = A\,\vartheta_\rho\, l; \; Q_\rho = - A,$$

mithin:

$$\Delta(\rho) = -\frac{1}{6} A l^3 (\xi - \vartheta_\rho)^2 (\xi + 2\vartheta_\rho); \; \frac{d\,\Delta(\rho)}{d\,x} = -\frac{1}{2} A l^2 (\xi^2 - \vartheta_\rho^2);$$

$$\frac{d^2\,\Delta(\rho)}{d\,x^2} = - A\,\xi\, l \quad \text{und} \quad \frac{d^3\,\Delta(\rho)}{d\,x^3} = - A$$

für die Querschnitte $\xi = \beta$ bis $x = 1$:

$$M_\rho = [A\,\vartheta_\rho - P(\vartheta_\rho - \beta)]\, l; \quad Q_\rho = - A + P,$$

mithin:

$$\Delta(\rho) = -\frac{1}{6} l^3 (\xi - \vartheta_\rho)^2 [A(\xi + 2\vartheta_\rho) - P(\xi - 3\beta + 2\vartheta_\rho)];$$

$$\frac{d\,\Delta(\rho)}{d\,x} = -\frac{1}{2} l^2 (\xi - \vartheta_\rho) [A(\xi + \vartheta_\rho) - P(\xi + \vartheta_\rho - 2\beta)];$$

$$\frac{d^2\,\Delta(\rho)}{d\,x^2} = [-A\,\xi + P(\xi - \beta)]\, l \quad \text{und} \quad \frac{d^3\,\Delta(\rho)}{d\,x^3} = - A + P,$$

und für die Querschnitte $\xi = 1$ bis $(n+1)$:

$$M_\rho = [A\,\vartheta_\rho - P(\vartheta_\rho - \beta) + C(\vartheta_\rho - 1)]\, l; \quad Q_\rho = - A + P - C,$$

mithin:

$$\Delta(\rho) = -\frac{1}{6} l^3 (\xi - \vartheta_\rho)^2 [A(\xi + 2\vartheta_\rho) - P(\xi - 3\beta + 2\vartheta_\rho) + C(\xi + 2\vartheta_\rho - 3)];$$

$$\frac{d\,\Delta(\rho)}{d\,x} = -\frac{1}{2} l^2 (\xi - \vartheta_\rho) [A(\xi + \vartheta_\rho) - P(\xi + \vartheta_\rho - 2\beta) + C(\xi + \vartheta_\rho - 2)];$$

$$\frac{d^2\,\Delta(\rho)}{d\,x^2} = [-A\,\xi + P(\xi - \beta) - C(\xi - 1)]\, l \quad \text{und} \quad \frac{d^3\,\Delta(\rho)}{d\,x^3} = - A + P - C,$$

so erhält man schliefslich die Gleichungsfolge (vergl. Fig. 105):

$$\left.\begin{aligned} y_\rho = \varphi_a \xi l + \frac{l^3}{6E} \Bigg\{ & -\frac{1}{J_1} A \xi^3_{,\,\mathrm{I}} + \sum_{\rho=1}^{\rho=2} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} A (\xi - \vartheta_\rho)^2 (\xi + 2\vartheta_\rho)_{,\,\mathrm{III}} \\ & + \frac{1}{J_3} P(\xi - \beta)^3 + \sum_{\rho=3}^{\rho=5} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} (\xi - \vartheta_\rho)^2 [A(\xi + 2\vartheta_\rho) - P(\xi - 3\beta + 2\vartheta_\rho)]_{,\,\mathrm{VI}} \\ & - \frac{1}{J_6} C(\xi - 1^3) + \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} (\xi - \vartheta_\rho)^2 [A(\xi + 2\vartheta_\rho) - P(\xi - 3\beta + 2\vartheta_\rho) + C(\xi + 2\vartheta_\rho - 3)] \Bigg\}_{,\,\mathrm{IX}} \end{aligned}\right\} \ldots 76.$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{d\,y_\rho}{d\,x} = \varphi_a + \frac{l^2}{2E} \Bigg\{ & + \frac{A}{J_1} \xi^2_{,\,\mathrm{I}} - \sum_{\rho=1}^{\rho=2} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} A (\xi^2 - \vartheta_\rho^2)_{,\,\mathrm{III}} \\ & - \frac{P}{J_3} (\xi - \beta)^2 - \sum_{\rho=3}^{\rho=5} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} (\xi - \vartheta_\rho) [A(\xi + \vartheta_\rho) - P(\xi + \vartheta_\rho - 2\beta)]_{,\,\mathrm{VI}} \\ & + \frac{C}{J_6} (\xi - 1)^2 - \sum_{\rho=6}^{\rho=8} \frac{J_{\rho+1} - J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}} (\xi - \vartheta_\rho) [-A(\xi + \vartheta_\rho) + P(\xi + \vartheta_\rho - 2\beta) - C(\xi + \vartheta_\rho - 2)] \Bigg\}_{,\,\mathrm{IX}} = \varphi_x \ldots \end{aligned}\right\} \ldots 77.$$

$$E\frac{d^2 y_\rho}{d x^2} = l\left\{-\frac{A}{J_1}\xi_{,\,\mathrm{I}} + \sum_{\rho=1}^{\rho=2}\frac{J_{\rho+1}-J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}}A\xi_{,\,\mathrm{III}} + \frac{P}{J_3}(\xi-\beta) + \sum_{\rho=3}^{\rho=5}\frac{J_{\rho+1}-J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}}[A\xi - P(\xi-\beta)]_{,\,\mathrm{VI}} - \frac{C}{J_6}(\xi-1) + \sum_{\rho=6}^{\rho=8}\frac{J_{\rho+1}-J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}}[A\xi - P(\xi-\beta) + C(\xi-1)]\right\}_{,\,\mathrm{IX}} = -\frac{M_x}{J_\rho} \quad \ldots 78.$$

$$E\frac{d^3 y_\rho}{d x^3} = -\frac{A}{J_1}{}_{,\,\mathrm{I}} + \sum_{\rho=1}^{\rho=2}\frac{J_{\rho+1}-J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}}A_{,\,\mathrm{III}} + \frac{1}{J_3}P + \sum_{\rho=3}^{\rho=5}\frac{J_{\rho+1}-J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}}(A-P)_{,\,\mathrm{VI}} - \frac{C}{J_6} + \sum_{\rho=6}^{\rho=8}\frac{J_{\rho+1}-J_\rho}{J_\rho J_{\rho+1}}(A-P+C)_{,\,\mathrm{IX}} = \frac{Q_x}{J_\rho} \quad \ldots 79.$$

Die Gleichung 78 mufs für $\xi = (n+1)$ Null werden und giebt, nach entsprechender Umformung, die für das vorliegende Trägersystem erforderliche Beziehung:

$$E J_9 \frac{d^2 y}{d x^2} = -A(n+1) + P(n+1-\beta) - Cn = -M_B = 0 \quad \ldots\ldots\ldots 78^a.$$

während die Gleichung 79 übergeht in:

$$E J_9 \frac{d^3 y}{d x^3} = -A + P - C = +B, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 79^a.$$

wobei mit B der Stützenwiderstand am rechten Trägerende bezeichnet wird.

Bei der zahlenmäfsigen Berechnung eines derartigen durchlaufenden Trägers gestaltet sich die letztere besonders einfach, wenn, wie es bei Drehbrücken gröfstenteils ausführbar ist, die gesamte Trägerlänge einem Vielfachen der Fachlänge gleich gewählt werden kann, weil sich dann für die Verhältniszahlen ξ, β und ϑ_ρ sehr einfache Zahlenwerte ergeben und die thatsächlichen Trägerlängen erst am Schlusse der Berechnung in dieselbe einzuführen sind.

b) Überhöhung der Mittelstütze um einen gegebenen Betrag c.

Wird die ursprünglich mit den beiden Endstützen A und B in einer Geraden gelegenen Mittelstütze C um den gegebenen Betrag c überhöht, so findet man die hierdurch hervorgerufenen Stützenwiderstände am raschesten aus der Arbeitsgleichung (siehe Fig. 105):

$$c = \frac{1}{E}\int_A^C \frac{M_x}{J_x}\cdot\frac{d M_x}{d C}\,dx + \frac{1}{E}\int_B^C \frac{M_x''}{J_x''}\cdot\frac{d M_x''}{d C}\,dx'';$$

hierbei sind die Querschnittsabstände x von der linken Endstütze A und die Querschnittsabstände x'' von der rechten Endstütze aus gerechnet, in die Formel einzuführen. Ferner sind in dieser Gleichung nach Fig. 105: $M_x = C\frac{n}{n+1}\vartheta_\rho l$, $M_x'' = C\frac{1}{n+1}\cdot n\vartheta'' l$ und $A = C\frac{n}{n+1}$, sodafs sich schliefslich zwischen C und c die Beziehung findet:

$$c = C\frac{n^2 l^3}{3(n+1)^2 E}\left[\sum_{\rho=1}^{\rho=6}\frac{\vartheta_\rho^3 - \vartheta_{\rho-1}^3}{J_\rho} + n\sum_{\rho''=8}^{\rho''=6}\frac{\vartheta_\rho''^3 - \vartheta_{\rho+1}''^3}{J_\rho''}\right] \quad \ldots\ldots 80.$$

Diese Gleichung gestattet eine Prüfung des mittels der Gleichung 75 gefundenen Rechnungsergebnisses. Wird in ihr $J_\rho = \ldots = J_\rho'' = J_c$ gesetzt, d. h. das Trägheitsmoment unveränderlich angenommen, so erhält man wieder die in der Gleichung 20 gefundene Beziehung:

$$C = \frac{3EJ_c}{n^2 l^3}(n+1)\,c.$$

Beispiel. Es sollen für den auf S. 123 untersuchten ungleicharmigen, über 3 Stützen durchlaufenden Drehbrückenträger ebenfalls die Stützendrücke, die Einsenkung an der Laststelle und die Tangente an die elastische Linie an der linken Endstütze berechnet werden; die Querschnittsänderung des Trägers erfolge jedoch sprungweise und zwar sind die Trägheitsmomente bestimmt durch folgende Angaben: Von $x = 0$ bis 8 m sei $J_1 = 0{,}25\ \mathrm{m}^4$; von $x = 8$ bis 20 m: $J_2 = 0{,}40\ \mathrm{m}^4$; von $x = 20$ bis 52 m: $J_3 = J_4 = 0{,}50\ \mathrm{m}^4$ und von $x = 52$ bis 60 m: $J_5 = 0{,}40\ \mathrm{m}^4$.

Unter diesen Annahmen wird:

$$n = 0{,}5;\ \beta = 0{,}5;\ \xi = 0{,}5;\ \vartheta_1 = 0{,}2;\ \vartheta_2 = 0{,}5 \text{ und } \vartheta_4 = 1{,}3;$$

ferner:

$$\alpha_1 = \frac{0,80 - 0,50}{0,40 \,.\, E J_4} = \frac{3}{2\,E}; \quad \alpha_2 = \frac{1}{2\,E}; \quad \alpha_3 = 0; \quad \alpha_4 = -\frac{1}{2\,E};$$

$$k_1 = \frac{1}{6\,E J_1} = \frac{2}{3\,E}; \text{ und } k_c = \frac{1}{6\,E J_3} = \frac{1}{3\,E}$$

Da nach Gleichung 72: $A = \frac{1}{3} C$ wird, findet sich aus der Gleichung 75:

$$\varphi_a = \frac{1}{E}\left\{\frac{2}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{3}{2} - \frac{1}{3}\cdot\frac{1}{8}\cdot\frac{2}{3} - \frac{1}{6}\left(\frac{2}{3}\right)^2\left[\frac{1}{2}\left\{\frac{3}{2}(1,5-0,2)^2(1,5+0,4) + \frac{1}{2}(1,5-0,5)^2(1,5+1,0)\right\}\right.\right.$$
$$\left.\left. + 2\,.\, -\frac{1}{2}(1,5-1,3)^3\right]\right\} = \frac{1}{E}\,397,02.$$

Dieser Wert in die Gleichung 74 eingeführt giebt:

$$c = \frac{1}{E}\left\{397,02\,.\,40 - \frac{2}{3}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{2}{3}\,.\,40^3 + \frac{1}{6}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{2}{3}\left[\frac{3}{2}(1-0,2)^2(1+0,4) + \frac{1}{2}(1-0,5)^2(1+1)\right]\right\}$$
$$= \frac{1}{E}\,7326.$$

(Zur Prüfung soll letzterer Wert noch mittels der Arbeitsgleichung 80 berechnet werden; man erhält:

$$c = \frac{1}{4}\cdot\frac{40^3}{3}\cdot\left(\frac{2}{3}\right)^2\cdot\frac{2}{E}\left\{\frac{0,2^3}{0,5} + \frac{0,5^3 - 0,2^3}{0,8} + \frac{1,0^3 - 0,5^3}{1} + \frac{1}{2}\left(\frac{0,4^3}{0,8} + \frac{1,0^3 - 0,4^3}{1}\right)\right\}$$
$$= \frac{1}{E}\,7325.)$$

Da nach Gleichung 74 für $\xi = 0,5$:

$$y_{20} = \frac{1}{E}\left\{397,02\,.\,\frac{1}{2}\,.\,40 + \left[-\frac{1}{2}\cdot\frac{2}{3}\cdot\frac{2}{3}\cdot\left(\frac{1}{2}\right)^3 + \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{6}\cdot\frac{2}{3}\cdot\frac{3}{2}(0,5-0,2)^2(0,5+0,4)\right]40^3\right\}$$
$$= \frac{1}{E}\,6594,7$$

giebt Gleichung 64ª den gesuchten Mittelstützenwiderstand:

$$C = \frac{6595}{7326}\,P = 0,900\,P;$$

nach Gleichung 78ª wird der linke Endstützendruck, da $\beta = 0,5$ ist,

$$A = (P - 0,5\,C)\,\frac{2}{3} = 0,367\,P.$$

Führt man nun die Werte von A und C in die Gleichungen 76, bezw. 77 ein, so erhält man die gesuchte Tangente an die elastische Linie an der linken Endstütze aus Gleichung 76, da für $\xi = 1$, $[y] = 0$ wird und $\beta = 0,5$ ist:

$$0 = \varphi_a\,.\,1\,.\,40 + \frac{40^3}{6\,E}\left\{0,367\,P\left[-\frac{1}{0,25}\,.\,1^3 + \frac{0,4 - 0,25}{0,1}(1,0-0,2)^2(1+0,4)\right] + \frac{1}{0,5}\,P\,(1-0,5)^3\right.$$
$$\left. + \frac{0,5 - 0,4}{0,20}(1,0-0,5)^2\,[P\,0,367\,(1+2\,.\,0,5) - P\,(1,0 - 3\,.\,0,5 + 2\,.\,0,5)]\right\}$$

zu: $\varphi_a = 211,8\,\frac{P}{E}$;

und schliefslich diesen Wert in die Gleichung 76 eingesetzt, für $\xi = 0,5$ die gesuchte Einsenkung unter der Last P:

$$y_{20} = \frac{P}{E}\,.\,211,8\,.\,\frac{1}{2}\,.\,40 + \frac{40^3}{6\,E}\,P\left\{-\frac{1}{0,25}\,.\,0,367\,.\left(\frac{1}{2}\right)^3 + \frac{0,40 - 0,25}{0,10}\,.\,0,367\,(0,5-0,2)^2(0,5+0,4)\right\}$$
$$= 2714\,\frac{P}{E}$$

Vergleich mit einem Träger unveränderlichen Querschnittes, dessen Trägheitsmoment $J = 0,50$ m⁴ (Pfeilerquerschnitt). Berechnet man unter dieser Annahme für den zuletzt betrachteten Belastungsfall ($\beta = 0,5$) aus den Gleichungen 5, 6, 8 und 1ª die Werte von A, C, φ_a und y für $\xi = 0,5$, so erhält man:

$$A = 0,375\,P;\quad C = 0,875\,P;\quad \varphi_a = 133,3\,\frac{P}{E} \quad\text{und}\quad y_{20} = 1666\,\frac{P}{E};$$

vergleicht man dieselben mit den für den Träger mit sprungweise veränderlichen Trägheitsmomenten gefundenen Werten, so ersieht man, dafs die Abweichung der statischen Gröfsen nur sehr gering ist und dieselbe bei A: 2,2%, bei C: 2,9% beträgt, während für die elastischen Gröfsen die Ergebnisse stark abweichen und zwar bei φ_a um 58,9% und bei y_{20} um 62,8%.

4. Beliebige Änderungen in der Höhenlage der ursprünglich in einer Geraden gelegenen Stützpunkte: beim durchlaufenden Träger über mehr als 2 Stützpunkte.

Alle hierdurch hervorgerufenen statischen und elastischen Gröfsen lassen sich aus den bisher aufgestellten Gleichungen für die über mehr als 2 Stützpunkte durchlaufenden Träger mit unveränderlichem, stetig und sprungweise veränderlichem Trägheitsmoment unmittelbar berechnen, wenn man statt der bisher giltigen Bedingungsgleichungen $[y]_{\xi=1} = 0$, $[y]_{\xi=(n+1)} = 0$, u. s. w. nun die neuen Bedingungsgleichungen: $[y]_{\xi=1} = \pm c$; $[y]_{\xi=n+1} = \pm b$ einführt, wobei mit c und b die Änderung in der Höhenlage über den Stützpunkten C und B bezeichnet wird (vergl. S. 111, Fig. 76a).

Die Berücksichtigung von Änderungen in den Höhenlagen der einzelnen Stützen der durchlaufenden Träger ist daher bei Anwendung der vorliegenden Berechnungsweise weder mit einer Erschwerung, noch mit irgend erheblicher Vergröfserung des erforderlichen Arbeitsaufwandes verbunden.

5. Berechnung der inneren Kräfte in dem über 2 Öffnungsfelder durchlaufenden Fachwerksträger (Drehbrücken).

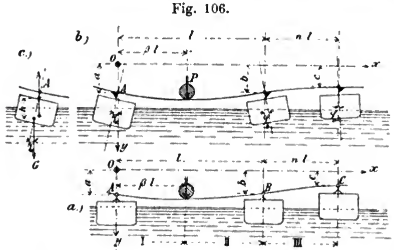
Besitzt der Fachwerksträger, wie es bei Drehbrücken gröfstenteils der Fall ist, wechselnde Trägerhöhe, so empfiehlt es sich, zur Bestimmung der Stabspannungskräfte in den Gurtungsstäben die Einflufswerte für die wagrechten Knotenpunktskräfte: $H_x = \frac{M_x}{h_x}$ (Fig. 76e) aufzutragen, wenn hierbei mit M_x das Moment an dem betrachteten Knotenpunkt und mit h_x die zugehörige Fachhöhe (lotrecht gemessen) bezeichnet wird; die gesuchten Stabspannungskräfte in den Gurtungen sind dann bei wagrechten Gurtungsstäben durch H_x selbst gegeben; bei geneigten Gurtungsstäben werden sie durch Multiplikation des letzteren Wertes mit der Gröfse: $\left(\frac{1}{\cos \tau_x}\right)$ erhalten, wobei τ_x den Neigungswinkel des betrachteten Stabes in Bezug auf die Wagrechte bezeichnet.

Die Einflufswerte für die Stabspannungskräfte der Ausfüllungsschrägen erhält man bei nicht wagrechten Gurtungsstäben am raschesten durch Ableitung der Differenzen: $\Delta H_x = H_{x+1} - H_x$ aus den soeben gefundenen Werten: $H_x = \frac{M_x}{h_x}$ und $H_{x+1} = \frac{M_{x+1}}{h_{x+1}}$ und Auftragen dieser Gröfsen als Einflufswerte (Fig. 76f); die gesuchte Kraft selbst ergiebt sich dann jeweilig durch Multiplikation mit der Gröfse: $\left(\frac{1}{\cos \beta_x}\right)$, wobei β_x den Neigungswinkel des betrachteten Stabes mit der Wagrechten bedeutet.

Bei parallelen Gurtungen werden die Stabspannungskräfte in den Schrägstäben selbstverständlich am raschesten bestimmt, wenn man von den Querkräften ausgeht.

C. Der durchlaufende Träger mit unveränderlichem Trägheitsmoment auf elastischen (nachgebbaren) Stützpunkten (Pontonbrücken).

Fig. 106.



1. Anordnung. Ist der durchlaufende Träger $A\,C$ (Fig. 106a) auf den Pontons frei drehbar aufgelagert, so werden die letzteren mit zu- oder abnehmender Belastung sich heben oder senken, ohne dabei eine Drehung auszuführen.

Die Pontons werden sämtlich gleich grofs vorausgesetzt und die wagrechte Schnittfläche eines solchen Pontons sei durch F in qm gegeben; das Gewicht G (in Tonnen) des durch einen Ponton verdrängten Wasserinhaltes beträgt, weil das cbm Wasser 1 t wiegt, bei y Meter Tauchtiefe $G = F \,.\, y$ 1. Da der Auftrieb in unmittelbarem Verhältnis zur verdrängten Wassermenge steht, so können unter den gemachten Voraussetzungen statt der unbekannten Stützenwiderstände A, B, C die infolge einer aufgebrachten Last P verdrängten Wassermengen $F\,a$, $F\,b$ und $F\,c$ in die allgemeinen Grundgleichungen eingeführt werden, welche mit Rücksicht auf die aus Fig. 106 a ersichtliche Bezeichnungsweise in Bezug auf das durch den Punkt O gelegte rechtwinkelige Koordinatensystem lauten:

$$EJy = EJa + EJ\varphi_a \xi l + l^3\left[-\frac{1}{6}Fa\xi^3_{\text{I}}, + \frac{1}{6}P(\xi-\beta)^3_{\text{II}}, - \frac{1}{6}Fb(\xi-1)^3_{\text{III}}\right] \quad . \; . \; 81.$$

$$EJ.\frac{dy}{dx} = EJ\varphi_a + l^2\left[-\frac{1}{2}Fa\xi^2_{\text{I}}, + \frac{1}{2}P(\xi-\beta)^2_{\text{II}}, - \frac{1}{2}Fb(\xi-1)^2_{\text{III}}\right] = \varphi_x \quad . \; . \; . \; 82.$$

$$EJ.\frac{d^2y}{dx^2} = l\,[-Fa\xi_{\text{I}}, + P(\xi-\beta)_{\text{II}}, - Fb(\xi-1)_{\text{III}}] = -M_x \quad . \; . \; . \; 83.$$

$$EJ.\frac{d^3y}{dx^3} = -Fa_{\text{I}}, + P_{\text{II}}, - Fb_{\text{III}}, = +Q_x \quad . \; . \; . \; 84.$$

Die 3 Unbekannten φ_a, a und b bestimmen sich aus den Bedingungen, dafs für $\xi = 1$, $y = b$; für $\xi = (n+1)$, $y = c$ und für $\xi = (n+1)$, $EJ.\frac{d^2y}{dx^2} = 0$ wird. Die weitere Unbekannte c findet sich schliefslich aus Gleichung 84, welche für $\xi = (n+1)$ selbstverständlich: $-Fa + P - Fb = Fc$ geben mufs.

Beispiel. Es sollen für den in Fig. 106 *a* dargestellten Belastungsfall die Höhenlagen a, b und c der einzelnen Pontons bestimmt werden, wobei $F = 6$ qm und das Trägheitsmoment des durchlaufenden Balkens $J = 0{,}00045\ \text{m}^4$ betrage. Die Lastentfernung von der linken Pontonstütze sei 5 m, $AB = 10$ m und $BC = 5$ m, demnach $n = 0{,}5$ und $\beta = 0{,}5$.

Setzt man zur Abkürzung: $6\,EJ = k = 6 \,.\, 0{,}00045 \,.\, 20\,000\,000 = 54\,000$, so geht die Gleichung 81 über in:

$$ky = ka + k\varphi_a \xi l + l^3[-Fa\xi^3 + P(\xi-\beta)^3 - Fb(\xi-1)^3] \quad . \; . \; . \; 81^a.$$

Aus Gleichung 83 erhält man, da dieselbe für $\xi = (n+1)$ Null werden mufs:

$$b = \frac{P}{F}(n+1-\beta)\frac{1}{n} - a\frac{n+1}{n} = \frac{P}{6}(1{,}5-0{,}5)\,2 - a \,.\, 2 \,.\, \frac{3}{2} = \frac{P}{3} - 3a.$$

Aus Gleichung 84 findet man:

$$-a + \frac{P}{6} - \left(\frac{P}{3} - 3a\right) = c = 2a - \frac{P}{6}.$$

Die Gleichung 81^a geht für $\xi = 1$ über in:

$$kb = ka + k\varphi_a\,10 + 1000\,[-6 \,.\, a \,.\, 1^3 + P(1-0{,}5)^3] = ka - 6000a + 125\,P + k\varphi_a \,.\, 10,$$

und für $\xi = (n+1)$ in:

$$kc = ka + k\varphi_a \,.\, \frac{3}{2} \,.\, 10 + 1000\left[-6 \,.\, a\left(\frac{3}{2}\right)^3 + P(1{,}5-0{,}5)^3 - 6 \,.\, b\left(\frac{1}{2}\right)^3\right]$$

$$= ka + k\varphi_a \,.\, 15 + 250\,(-72a + 3P).$$

Bestimmt man aus der ersten der beiden letzten Gleichungen den Wert von $\varphi_a \,.\, k$ und setzt ihn, sowie die früher gefundenen Werte für b und c in die letzte Gleichung ein, so erhält man:

$$54000\left[2a - \frac{P}{6}\right] = 54000\,a + 26813\,P - 315000\,a + 22500\,a + 750\,P,$$

hieraus:

$$a = \frac{36563}{487000}\,P = P \,.\, 0{,}0944\ \text{m}$$

und nun:

$$b = P\left[\frac{1}{3} - 3 \,.\, 0{,}0944\right] = P\,0{,}0501\ \text{m} \quad \text{und} \quad c = P[2 \,.\, 0{,}0944 - 0{,}1667] = P \,.\, 0{,}0221\ \text{m}.$$

Sind diese Werte gefunden, so können alle übrigen statischen und elastischen Gröfsen aus den obigen Gleichungen unmittelbar berechnet werden.

2. Anordnung. Der durchlaufende Träger AC (Fig. 106 *b* u. *c*) sei mit den Pontons derart starr verbunden, dafs letztere bei wechselnder Laststellung aufser der lotrechten Bewegung auch die in Fig. 106 *c* gekennzeichnete elastische Drehung ausführen müssen.

Bezeichnet man den Abstand des Gesamtschwerpunktes des Eigengewichtes eines Pontons einschliefslich Belastung vom Metacentrum mit h (Fig. 106 c), so entsteht aufser dem Auftrieb $G_a = Fa\,1$ (bezw. $Fb\,1$ und $Fc\,1$) in Tonnen ausgedrückt, durch die Biegung des durchlaufenden Trägers, hervorgerufen durch die Belastung P, auch noch das Drehmoment $M_a = G_a \,.\, h\varphi_a = Fa \,.\, h\varphi_a$; wird für h ein Mittelwert eingeführt und zur Abkürzung $M_a = f(a, \varphi_a)$ gesetzt, wobei die Bedeutung von a und φ_a aus der Fig. 106 *b* u. *c* ersichtlich, so können für den gezeichneten Belastungsfall die allgemein giltigen Ausgangsgleichungen wie folgt unmittelbar niedergeschrieben werden:

$$y = a + \varphi_a . \xi l + \left[\frac{1}{2} f(a, \varphi_a)\, \xi^2 l^2 \underset{\mathrm{I}}{,} - \frac{1}{6} F a . \xi^3 l^3 + \frac{1}{6} P (\xi - \beta)^3 l^3 \underset{\mathrm{II}}{,} + \frac{1}{2} f(b, \varphi_b)(\xi - 1)^2 l^2 - \frac{1}{6} F b . (\xi - 1)^3 l^3 \underset{\mathrm{III}}{,}\right] . \frac{1}{EJ} \quad \ldots\ldots 85.$$

$$\frac{dy}{dx} = \varphi_a + \left\{ f(a, \varphi_a)\, \xi l - \frac{1}{2} F a\, \xi^2 l^2 \underset{\mathrm{I}}{,} + \frac{1}{2} P (\xi - \beta)^2 l^2 \underset{\mathrm{II}}{,} + f(b, \varphi_b)(\xi - 1)\, l - \frac{1}{2} F b\, (\xi - 1)^2 l^2 \underset{\mathrm{III}}{,} \right\} . \frac{1}{EJ} = \varphi_x \ldots 86.$$

$$E J . \frac{d^2 y}{d x^2} = f(a, \varphi_a) - F a\, \xi\, l \underset{\mathrm{I}}{,} + P(\xi - \beta)\, l \underset{\mathrm{II}}{,} + f(b, \varphi_b) - F b\, (\xi - 1)\, l \underset{\mathrm{III}}{,} = - M_x \quad \ldots\ldots 87.$$

$$E J . \frac{d^3 y}{d x^3} = - F a \underset{\mathrm{I}}{,} + P \underset{\mathrm{II}}{,} - F b \underset{\mathrm{III}}{,} = + Q_x \quad \ldots\ldots 88.$$

Die 4 unbekannten Gröfsen a, φ_a, b und φ_b dieser Gleichungen können aus den Bedingungen bestimmt werden, dafs: $[y]_{\xi = 1} = b$, $\left[\frac{dy}{dx}\right]_{\xi = 1} = \varphi_b$; $\left[E J . \frac{d^3 y}{d x^3}\right]_{\xi = (n+1)} = + F c =$ dem Auftrieb der rechten Endstütze und $\left[E J . \frac{d^2 y}{d x^2}\right]_{\xi = (n+1)} = - f\,(c, \varphi_c) =$ dem elastischen Momentenwiderstand des rechten Pontons sein mufs.

Die Durchführung der Rechnung wird wesentlich vereinfacht, wenn man, was für praktische Fälle zulässig erscheint, die Auftriebskräfte G_a, G_b und G_c nach der vorher behandelten Anordnung 1 berechnet und deren Werte als bekannte unveränderliche Gröfsen in die obige Gleichungsfolge einführt, die dann übergeht in:

$$y = a + \varphi_a \xi l + \frac{1}{EJ}\left[\frac{1}{2} G_a \varphi_a h\, \xi^2 l^2 \underset{\mathrm{I}}{,} - \frac{1}{6} F . a\, \xi^3 l^3 + \frac{1}{6} P (\xi - \beta)^3 l^3 \underset{\mathrm{II}}{,} + \frac{1}{2} G_b \varphi_b h\, (\xi - 1)^2 l^2 - \frac{1}{6} F . b\, (\xi - 1)^3 l^3 \underset{\mathrm{III}}{,}\right] \quad \ldots\ldots 85^a.$$

$$\frac{dy}{dx} = \varphi_a + \frac{1}{EJ}\left[G_a \varphi_a h\, \xi l - \frac{1}{2} F . a\, \xi^2 l^2 \underset{\mathrm{I}}{,} + \frac{1}{2} P (\xi - \beta)^2 l^2 \underset{\mathrm{II}}{,} + G_b \varphi_b h\, (\xi - 1)\, l - \frac{1}{2} F . b\, (\xi - 1)^2 l^2 \underset{\mathrm{III}}{,}\right] = \varphi_x \quad \ldots\ldots 86^a.$$

$$E J . \frac{d^2 y}{d x^2} = G_a \varphi_a h - F . a . \xi\, l \underset{\mathrm{I}}{,} + P (\xi - \beta)\, l \underset{\mathrm{II}}{,} + G_b \varphi_b h - F . b\, (\xi - 1)\, l \underset{\mathrm{III}}{,} = - M_x \quad \ldots\ldots 87^a.$$

$$E J . \frac{d^3 y}{d x^3} = - F . a \underset{\mathrm{I}}{,} + P \underset{\mathrm{II}}{,} - F . b \underset{\mathrm{III}}{,} = + Q_x \quad \ldots\ldots 88^a.$$

Berichtigungen.

S. 22, Z. 11 v. oben lies Litt. 15 statt Litt. 31.
S. 38, Z. 3 v. unten „ „ 58 „ „ 59.
S. 72, Z. 7 v. oben fehlt nach: a) Hubbrücke in Hamburg: [Litt. 2].
S. 95, Z. 22 v. „ lies Litt. 6 statt Litt. 6 und 8.
S. 117, in Gleich. 42 lies $E(\xi - 2n - 3)^3]$ statt $E(\xi - m - 3)^3]$.
S. 126, „ „ 75 „ $\sum\limits_{\rho=1}^{\rho=5}$ statt $\sum\limits_{\rho=1}^{\rho=8}$.

Druck von Rud. Bechtold & Comp., Wiesbaden.